التاريخ الكبير و مستقبل البشرية

فريد سباير

ترجمة: عزت عامر

جمهورية مصر العربية
وزارة الثقافة
المركز القومي للترجمة
التنوير

يعرض كتاب «التاريخ الكبير» الماضي الإنساني ضمن تاريخ الحياة والأرض والكون.

إن بزوغ هذا الفرع من الدراسات التاريخية يزوِّدنا بنظرة عامة على الماضي المعروف كاملًا، منذ بدء الزمان وحتى اليوم الحاضر. في هذا الكتاب، يقدم فريد سباير مقاربة نظرية بسيطة، تجعل التاريخ الكبير مفهومًا وسهلًا، وتكشف أيضًا عمَّا يمكن أن يحمله المستقبل للإنسانية.

تقدِّم هذه المقاربة الجديدة تفسيرًا للتاريخ الكبير على أنه تاريخ نشوء وزوال التعقد بكل صيغه الهائلة التعدد، من مجموعات المجرات الأكثر ضخامة إلى أصغر الجزيئات دون الذرية.

من خلال التركيز على تدفق الطاقة في المادة والظروف التي أنتجت التعقد، يتابع الكاتب نشوء وانحدار أهم الصيغ الرئيسية للتعقّد التي وُجدت، بما فيها المجتمعات الإنسانية ومنتجاتها.

كتاب التاريخ الكبير ومستقبل الإنسانية يطرح رؤى محفِّزة لأصل الحياة وتطورها ويمثِّل دعوة لتأمل مكانة الإنسان في الكون بطريقة مدهشة وجديدة.

فريد سباير:

أستاذ محاضر في التاريخ الكبير في جامعة أمستردام، ويدرِّس التاريخ الكبير في جامعة أيندوهفن للتكنولوجيا. وهو مؤلف كتاب «الأنظمة الدينية في البيرو» (1994)، و«بنية التاريخ الكبير: من الانفجار العظيم إلى اليوم» (1996).

ISBN 978-977-6483-40-8
9 789776 483408

جمهورية مصر العربية
وزارة الثقافة
المركز القومي للترجمة
التنوير

التاريخ الكبير
ومستقبل البشرية

- المركز القومي للترجمة
تأسس في أكتوبر ٢٠٠٦ تحت إشراف: جابر عصفور.
مدير المركز: شكري مجاهد.

العدد: 2627
التاريخ الكبير ومستقبل البشرية
تأليف: فريد سباير
ترجمة: عزت عامر
اللغة: الإنجليزية
الطبعة الأولى: 2015
هذه ترجمة كتاب:

Big History and the Future of Humanity
By: Fred Spier

للمركز القومي للترجمة: شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة
هاتف: ٢٧٣٥٤٥٢٤ - فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤
ودار التنوير للطباعة والنشر: القاهرة-وسط البلد-19 عبد السلام عارف (البستان سابقًا)
الدور 8-شقة 82 هاتف: 0020223921332 بريد إلكتروني: cairo@dar-altanweer.com

فريد سباير

التاريخ الكبير

ومستقبل البشرية

ترجمة: عزت عامر

إهداء

إلى ذكرى ستيفن سبندر

1909 - 1995

الترقيم الدولي: ISBN 978-977-6483-40-8
رقم الإيداع: 15566 / 2015

الإهداء

إلى وليام هاردي ماك نيل:

المؤرّخ الذي أكنّ له أعظم إعجاب في العالم كله.

ظللنا نغوص في عملية تطورية هائلة (ربما) بدأت مع الانفجار الكبير وتتّجه إلى مستقبل مجهول - منظومة تتطوّر خلالها المادة والطاقة، تتشكل نجوم وتتحطّم متفرّقة، والمجموعة الشمسية التي تشكّلت وسوف تنهار في نهاية المطاف (لكن قبل انهيار الحياة)، والمجتمعات البشرية التي ظهرت على كوكب الأرض، والتي بدأت تطوّرًا لا تبدو له نهاية منظورة.

William H. McNeill, The Global Condition (1992), pp. xiv–xv.

مقدمة وشكر

في أكبر فلسفة، كان الانطباع الذي تهتزّ له الأسس هو رؤية مدى صغر الأرض... حتى الصور لم تكن تفعل ذلك بإنصاف، لأنه كان يحيط بها دائمًا هذا الإطار. لكن عندما... توجِّه بصرك من نافذة المركبة الفضائية، يمكن أن ترى نصف الكون... ويكون أكثر إظلامًا وأكبر حجمًا مما يمكن أن تحتويه صورة ذات إطار.. لا يتعلق الأمر بمدى صغر الأرض، لكن بمدى ضخامة كل شيء آخر فحسب.

رائد فضاء أبولو 8 في
Chaikin & Kohl (2009), p. 158

هذا الكتاب عن التاريخ الكبير، هو نهْج في دراسة التاريخ يدمج ماضي البشرية في إطار التاريخ الكوني، من بداية الكون حتى الحياة على الأرض وصولًا إلى الوقت الراهن. يقدم هذا الكتاب نهجًا نظريًا جديدًا تمامًا في دراسة التاريخ الكبير الذي سيتيح، كما أتمنى، فهمًا أفضل ليس فقط للماضي ولكن أيضًا للتحديات الرئيسية التي سيواجهها البشر في المستقبل القريب.

إن ما حفَّزني على البحث عن نظرية تشكل أساسًا للتاريخ الكبير هو اهتمامٌ عميق بما كان يفعله البشر في ظروف حياتنا على كوكب الأرض. وأتى انشغالي البيئيّ، بدوره، كنتيجة مباشرة لرحلات طيران أبولو إلى القمر في أواخر الستينات وأوائل السبعينات. حدثت المهمة التي تركت أكثر الانطباعات بقاءً في ديسمبر من العام 1968، عندما ذهبت أبولو 8 إلى القمر لأول مرة ودارت حول رفيقنا السماوي 10 مرات قبل العودة

إلى الأرض. في هولندا، كنت أراقب بثّهم الحي من الفضاء، بينما كانت الصور التي تلتقطها الكاميرا الفوتوغرافية الخاصة بي موضوعة على حاملٍ ذي ثلاثة أرجل أمام جهازنا التلفزيوني. كان ذلك قبل أيام تسجيلات الفيديو المنزليّة، أو أي أجهزة أخرى يمكنها تسجيل صور التلفزيون. شعرت بأنني كنت أشاهد أحداثًا ذات أهمية كبيرة، بينما لم أكن متأكّدًا مما إذا كانت هذه الصور يمكن حفظها أو يمكن أن تكون متاحة لي. التقطت صورًا لعملية الإطلاق، ولأول بثٍّ حيٍّ من الفضاء، تضمَّنت الصور الأولى غير المكتملة للأرض، ولسطح القمر كما تمت رؤيته من مدار القمر. في جهازنا التلفزيوني العائلي، تشبه الأرض من الفضاء بقعة بيضاء، نتيجة لتعرض كاميرا تلفزيون أبولو لضوء شديد لفترة طويلة. كان الفضول يتملّكني لمعرفة ما كان يراه رواد الفضاء بالفعل، وماذا تشبه «الأرض الطيبة» من الفضاء، كما أطلق قائد أبولو 8 فرانك بورمان Frank Borman على كوكبنا خلال بث عشية الميلاد الشهير من مدار القمر[1].

لم يكن عليَّ أن أنتظر طويلًا. على الفور تلقّت عائلتي عدد يناير من مجلة «تايم» التي عرضت صورًا مختارة التقطها روّاد الفضاء. كانت صورة الافتتاحية لـ «ألبومها القمري» هي صورة بزوغ الأرض الشهيرة، المصوَّرة على غلاف هذا الكتاب (الطبعة الإنجليزية)، مع تعليق: مناظر مذهلة من أبولو 8. بينما كنت أنظر إلى هذه الصورة، شعرت بصدمة لم أشعر بها أبدًا من قبل ولم أجرّبها بعد ذلك أبدًا. خلال ثانية، أصبح إدراكي للأرض خارج أي تقدير. قصصت الصورة بعناية، وألصقتها على حائط غرفتي وحيث بقيت أنظر إليها لعدة سنوات قادمة. لا تزال هذه الصورة لديَّ وأقدِّرها إلى حد كبير.

لم أتلقَّ -في تعليمي- ما يؤهّلني لهذا المظهر الجديد للأرض. في المدرسة، تلقيت تعليمًا هولنديًا تقليديًا -ربما غرب أوربي- تضمَّن اللاتينية واليونانية القديمة، واللغات المعاصرة مثل الإنجليزية، والفرنسية والألمانية، والرياضيات، والفيزياء، والكيمياء، والجغرافيا والتاريخ. ورغم ذلك لم ترتبط هذه الأقسام من المعارف أبدًا ببعضها بعضًا ولم يتم تقديمها من منظور واحد. وجعلني ذلك غير جاهز بالمرة للمشهد غير العادي لكوكبنا الأزرق والأبيض المحاط بالفضاء المظلم، ينبعث فوق المنظر القمري الرمادي الموحش. أوضحت هذه الصور لأول مرة كيف تختلف الأرض عن جيرانها في الكون[2]. وجعلت الناس عبر العالم يندهشون مما نفعله لوطننا في هذا الكون. وأدى ذلك إلى زيادة سريعة غير مسبوقة في الوعي البيئي، بما في ذلك إنشاء أول يوم للأرض في العام 1970.

كان أكثر المنشورات البيئية تأثيرًا في ذلك الوقت دراسة تكفَّلت بها في العام 1970 جماعة مستقلة من المفكرين أطلقوا على أنفسهم «اسم نادي روما»، لأنهم بدؤوا القاءاتهم في هذه المدينة القديمة. بعد تنفيذ التقرير النهائي في معهد مساتشوستس للتقنية تحت قيادة دينيس ميدوس Dennis Meadows وتمويل من مؤسسة فولكس فاجن، حمل التقرير عنوان «حدود النمو: تقرير لمشروع نادي روما حول مأزق البشرية». تم نشره بعدة لغات، بما في ذلك الهولندية. وكان هناك اهتمام كبير لخمس متغيرات تم اعتبارها مهمة: النمو السكاني، وإنتاج الطعام، والإنتاج الصناعي، والمخزون المحدود للموارد الطبيعية والتلوُّث الذي يتعذَّر اجتنابه. كانت المحصّلة هي أن كل هذه العوامل، أيًا كانت طرق الجمع بينها، ستعمل ككابح ضد رفاهية البشر في المستقبل القريب. وفي هولندا، بشكل خاص، تم استقبال هذه الدراسة باهتمام كبير وتم تسويقها بنجاح كبير. تبعًا لفريتس بوتشر Frits Bottcher، العضو الهولندي في نادي روما، كان الأمر كذلك لأن لهولندا أعلى دخل لكل هكتار في العالم، ونتيجة لذلك كانت تعاني الكثير من المشاكل التي تمت مناقشتها على نحو يوميّ[3].

بينما كانت الأمور تجري على هذا المنوال، لم يذكر أبدًا أي ممن يحيطون بي، بما في ذلك أساتذتي في المدرسة الثانوية وبعد ذلك في الجامعة، التغيّر العميق الذي أحدثه منظور صور الأرض من الفضاء، لكنهم فضَّلوا التمسك ببرامجهم التعليمية المقرَّرة. في ذلك الوضع احتفظت بأغلب أفكاري ومشاعري لنفسي، ورغم ذلك بدأت أشعر بما أصفه الآن باعتباره الانقطاع الأكثر إثارةً للحزن.لم يقتصر الأمر على أنني كنت في قلق متزايد تجاه المشاكل البيئية، لكنني رغبت أيضًا في معرفة كيف أدخلت البشرية نفسها في هذا الموقف. وهذا الفضول تجاه تاريخ البشر حفَّزه مقطع في المقدمة الهولندية لـ «حدود النمو»، الذي يقرِّر أننا قد نستطيع بصورة مجدية أن نغيِّر موقفنا الحالي للأفضل، لو أننا فهمنا مدى اختلاف هذا الموقف الحالي عن تلك الفترات التاريخية الأقدم التي شكَّلت البشر من الناحية البيولوجية والثقافية[4]. في ذلك الوقت، لم يكن التاريخ البيئي الأكاديمي قد وُجد بعد، وأيضًا لم أكن على علم بأي تقارير عن تاريخ العالم يمكن أن تساعدني في هذا الجانب. نتيجة لذلك، بدأتُ بحثًا عقليًا طويلًا عن فهْم أفضل للتاريخ البشري، الذي بلغ ذروته عندما أصبحت في ألفة مع التاريخ الكبير.

بالنسبة لي، أصبح التاريخ الكبير طريقةً مدهشة لتفسير كيف أصبحتُ أنا وكل شيء حولي موجودًا[5]. في التاريخ الكبير، يمكن التعامل مع أي مسألة تخصّ كيف ولماذا أصبحت جوانب معينة من الحاضر على ما هي عليه. وفي ما لا يشبه أيَّ فرع علمي أكاديمي، يدمج كل الدراسات عن الماضي في منظور جديد ومتماسك. وعندما يفعل ذلك يتيح لي التاريخ الكبير اتصالًا جديدًا أكثر إثارة للرضا. ومقارنة بالعدد الكبير من الدراسات التي تتخذ من مناهج التاريخ الكبير كل عام على نحو تطوّعيّ، فقد يتيح ذلك أيضًا اتصالًا مشابهًا.

وُلد أغلب طلابي بعد انتهاء برنامج أبولو تمامًا. وبالنسبة إليهم، تُعتبر رحلات الطيران إلى القمر جزءًا من التاريخ البعيد. ومع ذلك، فمنذ نهاية الستينات، لم يشهد الكثير من مناهج الجامعة، خاصة في الإنسانيات، تغيّرات كبيرة. ونتيجة لذلك، لعل الكثير من الطلاب ما زالوا يفتقدون إلى اتصالات مماثلة.

بعد أن ألهمتني صورة بزوغ الأرض، سعيْت خلال السنوات الثلاثين الماضية إلى الحصول على نظرية شاملة منفصلة عن التاريخ بمساعدة رؤية نظرية. بينما تعتبر هذه المقاربة شائعة تمامًا في العلوم الطبيعية، فحتى الوقت الراهن يميل أغلب المؤرِّخين وعلماء الاجتماع إلى التركيز على التفاصيل على حساب افتقاد النظرية الشاملة. مقاربتي للتاريخ قادتني إلى تفسيرٍ للأمور البشرية على هذا الكوكب يُعتبر، من ثَمّ، مختلفًا على الأرجح عن الروايات التاريخية الأكثر رسوخًا.

المقاربة النظرية للتاريخ الكبير، التي سيتم شرحها في الفصل الثاني، تقوم على المعرفة التي تم الحصول عليها خلال مهنتي الأكاديمية الأكثر تنوّعًا. في البداية استكملت دراسة الكيمياء الحيوية، خاصة ما كان يُطلق عليه حينئذ «الهندسة الوراثية» للنباتات. كان المتوقَّع من هذا النوع من الأبحاث أن يساعد على زيادة الإنتاج الغذائي العالمي[6]. ورغم ذلك بقيت قلقًا من أن ذلك قد لا يكون كافيًا لحل المشاكل التي تمت الإشارة إليها في تقرير «حدود النمو». وبعد أن انتهيت من دراستي للكيمياء العضوية، قرَّرت عندئذ ألا أتمسَّكُ بمهنة في هذا المجال، وعلى الرغم من أنني تلقيت عروضًا من عدة مراكز لدكتوراه الفلسفة، بدأت أنجرف، في محاولة للعثور على حل لمسألة كيف وضع البشر أنفسهم في مأزقهم الراهن.

لنحو عام، عمِلت في مشروع بيئي هولندي يسمَّى جايابوليس Gaiapolis. قدّم لي

ذلك الكثير من المعلومات عن الحركة البيئية الهولندية وعن الحياة بشكل عام. وبدأت أيضًا السفر برًا في أوربا، والشرق الأوسط وأفريقيا، ما ساعدني على أن أصبح أكثر معرفة بالحياة في المناطق الأكثر فقرًا في العالم. خلال ركوب قطار في السودان الأوسط في العام 1979، قابلت عالم الأنثروبولوجيا الألماني جواشيم تييس Joachim Theis، الذي وضعتني تحليلاته المتوازنة عن الأوضاع السودانية المحلية على طريق دراسة الأنثروبولوجيا الثقافية. وكان أول كتاب أقرأه عن الأنثروبولوجيا هو الكتاب التقليدي كمقدمة عامة لمارفين هاريس Marvin Harris «الثقافة، والشعب، والطبيعة»، والذي وجدته فاتنًا. كنت محظوظًا إلى حد كبير بمقابلة عالم الأنثروبولوجيا المثير للاهتمام هذا شخصيًا في العام 1988.

بفضل دعم والدي السخي، درست الأنثروبولوجيا الثقافية والتاريخ الاجتماعي في هولندا في الثمانينات وأوائل التسعينات. خلال هذه الفترة الزمنية، قمت بدراسة طويلة المدى للدين والسياسة في البيرو خلال تاريخها المعروف بالكامل مع التأكيد على قرية محلية بمفردها، أبرشية سان نيكولاس دو باري دو زاريت، الواقعة بالقرب من عاصمة الإنكا القديمة لكاسكو Cusco. كانت الفكرة الأساسية من وراء بحثي هي التوصُّل إلى كيفية تعامل مجتمع من الفلاحين، الذين يعيلون أنفسهم إلى حد كبير، مع الطبيعة، وما كان حال تاريخ هذا المجتمع. والأمر الأكثر أهمية، كيف وإلى أي حد تأثرت هذه المنطقة بالعالم الخارجي. ولأن الدراسات البيئية لم تكن موجودة بعد في هولندا، قرّرت التركيز على الدين الأنديزي المحلِّي، على أمل أن يكون فيه الكثير من الأفكار والممارسات البيئية الجيدة (واتضح أن هذا صحيح).

خلال تلك الفترة، قدَّم لي عالم الأنثروبولوجيا الثقافية الهولندي مارت باكس Mart Bax، الذي أشرف على عملي في البيرو، معرفة بالمقاربة العملية الموجَّهة للتاريخ التي طوَّرها عالم الاجتماع الألماني نوربيرت إلياس Norbert Elias، بالإضافة إلى شرحه التفصيليّ الخاص لهذه النظرية في مجال الدين والسياسة. ولاحقًا، وصلني أيضًا دعم مهم بالمثل من عالِم الاجتماع الهولندي جوهان جودسبلوم Johan Goudsblom، الذي أصبح المشرف الثاني على أطروحتي في دكتوراه الفلسفة. أحد أهم الأشياء التي تعلمتها في هذه الفترة أن أغلب تاريخ القرية الأنديزية في البيرو -التي كنت أدرسها- كان مرتبطًا بشكل معقَّد بالعمليات الرئيسية في تاريخ الإنسان. لخَّصت بحثي

في كتابين[7]، ورغم ذلك فإنني، والآن فقط، بعد تطوير نموذج نظري سأقدِّمه في هذا الكتاب، فهمت تمامًا أكثر بكثير كيف كان هؤلاء الفلاحون في البيرو يستغلُّون، بتعقُّل شديد، بيئتهم الطبيعة المحيطة بهم.

بعد أن انتهيت من مشروعي لدكتوراه الفلسفة في العام 1992، تبخَّر في هولندا فجأةً كل الاهتمام بأمريكا اللاتينية نتيجة انهيار الشيوعية في وسط وشرق أوربا. وبدلًا من دعم البحث والمساعدة التطويرية في بلدان كانت ساحة قتال في الحرب الباردة، بدأت حكومات أوربا الغربية تمويل جهود دمْج وسط أوربا في الاتحاد الأوربي. وهو ما جعل من المستحيل عمليًا استمرار مزيد من البحث في البيرو. لحُسن الحظ، أصبح جوهان جولدسبلوم في الوقت نفسه على علم بمنهج التاريخ الكبير الرياديّ لدافيد كريستيان David Christian، بفضل زيارة في العام 1992 لجامعة ماكوايري، في سيدني، في أستراليا. في هذا المنهج، يتراوح المحاضرون بين علماء فلك وعلماء اجتماع، كل منهم يقدِّم الجزء الخاص به في القصة الجليلة. كانت هذه المبادرة ذات جاذبية شديدة بالنسبة لي أيضًا، لأنها يمكن أن تمدّني بالضبط بنوع النظرية التاريخية الشاملة التي كنت أحاول العثور عليها. في العام 1993، بدأت مع جودسبلوم في تحضير أول منهج تاريخ كبير لجامعة أمستردام، والذي كان على نموذج مقاربة كريستيان. تم تنفيذ برنامجنا الأول عن التاريخ الكبير في العام 1994، و منذ ذلك الحين تم اعتماده سنويًا[8].

في نوفمبر من العام 1992، كنت محظوظًا إلى حد كبير بمقابلة عالم تاريخ العالم الأمريكي وليام هـ. ماكنيل William H. McNeill في أمستردام. ومنذ ذلك الحين، قدَّم لي دعمه المهم والأكثر سخاءً. وكان دعمه مهمًا، ليس فقط لأنه ساعدني على شحذ وجهات نظري، بما في ذلك كتابة هذا الكتاب (كان يتحداني مرات كثيرة لفعل ما هو أفضل بطريقته الفذة، والأكثر إيجابية)، ولكن لأنني لو كنت في وضع آخر لما نجوت من نزوات الحياة الأكاديمية، بعد أن بدأت رحلتي في اتجاه التاريخ الكبير، والذي لم يكن له ملاذ آمن في الحياة الأكاديمية. وقد خصَّصت هذا الكتاب له كتذكار صغير لامتناني الضخم لكل ما فعله من أجلي.

بينما كنت أعدّ أول منهج لنا عن التاريخ الكبير في العام 1994، أدركت أنه بفعل ذلك كنت أعِدّ التاريخ الكبير في حد ذاته. وأدى هذا التبصُّر الأكثر إثارة إلى كتابي «بِنية التاريخ الكبير» (1996) حيث تم اقتراح بِنية عامة لكل التاريخ. وفي زيارة لمعهد

سانتا في في أكتوبر من العام 1996، حيث قدَّمت كتابي الجديد، تعرَّفت على دراسات معقَّدة. وعلى الرغم من أن هذا الموضوع بدأ يظهر خلال السنوات اللاحقة على نطاق أوسع من أي وقت مضى، كنت عاجزًا عن استخدامه لإنجاز تصميم جيد يتعلَّق بالتاريخ الكبير. في العام 2000، زارنا عالم الفيزياء الفلكية الأمريكي إريك شايسون Eric Chaisson وأعطى محاضرة عظيمة. ولقد قدَّم لي عندئذ وجهات نظره التجديدية حول الطاقة والتعقّد بأن أعطاني نسخة من مخطوطه طالبًا منِّي التعليق. أعطاني ذلك زادًا للتفكير عدة سنوات.

حدث التقدم الهائل نحو المقاربة الحالية في فبراير 2003، بينما كان يجري تدريس منهج التاريخ الكبير في أمستردام. بعد عودتي من محاضرة، سألتني زوجتي الأمريكية جينا – وهي تعد غداءً إيطاليًا شهيًا – السؤال البسيط حول سبب حدوث التاريخ الكبير بهذه الطريقة. ومحاولًا أن أكون واضحًا ومختصرًا بقدر الإمكان، أدركت فجأة أن هذا السؤال لم يسبق أبدًا أن طرحه عليَّ أي شخص بهذه الطريقة. ورأيت أيضًا أن الإجابة لعلها ستكون بسيطة وأنيقة. ويقدِّم كتابي هذا الإجابة عن سؤال جينا.

لقد نُشر أول ملخص لهذه المقاربة في العام 2005 كمقالة في المجلة الروسية «التطور الاجتماعي والتاريخ» الصادرة باللغة الإنجليزية، تحت عنوان «كيف يعمل التاريخ الكبير: تدفّق الطاقة وظهور نهاية التعقّد». ويعتبر هذا الكتاب استفاضة وتهذيبًا للحجج التي تمّ عرضها في هذه المقالة.

أنا مدرك تمامًا لحقيقة أن معارفنا العلمية مستمرَّة في التطوُّر. حتى خلال خمسة عشر عامًا من تدريسي للتاريخ الكبير، حدثت تغيّرات أساسية، مثل الظهور المفاجئ للطاقة المظلمة في علم الكون. ونتيجة لذلك، يظل التاريخ الكبير يتغيَّر، وهو ما سيجعل الكثير من «الحقائق» المذكورة في هذا الكتاب تبدو عتيقة الطراز في وقت ما في المستقبل. ورغم ذلك لديَّ أمل في أن نظريتي الجديدة حول التاريخ سوف تبقى لزمن أطول. وإذا لم يحدث ذلك، لديَّ أمل كبير جدًا في أن هذا الكتاب سيلقَى محاولات تقليد لكي تحلّ مكانه مقاربة أفضل.

في التاريخ الكبير، من الواضح أنه من المستحيل التمعُّن بشكل شخصي في كل المصادر البارزة. بالإضافة إلى القراءة الكثيرة بقدر الإمكان، كان الحل هو إخضاع أفكاري لمتخصِّصين في المجالات المختلفة، من علماء الفلك إلى علماء الاجتماع،

وقد مدّني أغلبهم بمراجعة على أعلى درجة من الأهمية. ورغم أن ذلك ساعدني في المحافظة على أن تبقى معارفي عصرية حول كل هذه المجالات المختلفة بقدر الإمكان، لا أضمن، بالطبع، أن وجهات النظر المذكورة في هذا الكتاب تمثّل دائمًا أحدث علم وأفضله. ولقد تأثرت أيضًا بعمق في تفكيري بالكثير من الأشخاص قبل أن أبدأ في كتابة هذا الكتاب، ومن دونهم، كان هذا الكتاب ليختلف بالتأكيد، أو لم يكن ليوجد بالمرة. يضاف إلى ذلك، أن الكثير من المتخصصين قدَّموا دعمهم لهذا المشروع. لذلك أنا مدين للكثيرين بطرقٍ عديدة، بعضهم لم يعد -للأسف- بيننا.

أذكرهم هنا بالترتيب الأبجدي: والتر ألفاريز، مارت باكس،كرايج بنيامين، تشارلز بيشوب، موريس بلسنج، سفيتلانا بورنسكايا، جوليان كوناكايكا ف.، إرنست كولتير، لينارت ديك، كراستين دومينيك، راندي فان دورين، دينيس فلاين، أندريه جاندر فرانك، أدريانا جاليجاسيفيك، توم جيهرلز، السيد والسيدة لويس جياندومينيكو، أرتارو جيرالديز، ليونيد جرينين، هويب هنريتشس، إد فان دين هوفيل، هنري هوجيمسترا، تيج دو جونج، ماتشيل كيسترا، برام نيت، مارسيل كونين. ل. و. لابورداس، ألكسندر مالكوف، كوين مارتينس، ج-ون ر. مكنيل، أكوب نازارتيان، جوان فكتور نانيز ديل برادو، دون أوستروفسكي، مارتينبيترسون، روبرت برسيج، نيكولاي بودابني، هاري بريم، إسير كواداكرز، لوكاس ريجندرز، ريتشارد ساندرز، جيرتجان سافونيج، أندريه شرام، فاكلاف سميل، م. إيستلي سميث، جرام سنوكس، جان سباير، بول ستورم، إجبيرت تيلجين، جوشيم تايس، ميشيل فان دير تور، بارت ترومب، أنتونيو فيليز، إريك فيربيك، جون دو فوس، جان ويردنبورج، جوس ويركهوفين، بيتر فيتبروك ورالف ويجيرس.

وأنا مدين أيضًا لكل المحاضرين الآخرين الذين لم أذكرهم سابقًا، ولعدد كبير جدًا من الطلاب، وأيضًا لآخرين أسهموا بطرق قد لا أتذكرها بالضبط أو حتى غير مدرك لها في الوقت الحالي.

وأشكر بشكل خاص دافيد كريستيان للمناقشات الكثيرة المدهشة والمثيرة للنشاط، ووليام ماكنيل، لدعمه الذي لا ينضب ونقده الحكيم دائمًا، وبوب مور، لنقده البنّاء وتصحيحاته الرائعة للإنجليزية في كل الفصول ودعمه المهم لنشر هذا الكتاب، وإريك شايسون للتنبيه على أخطاء حاسمة بينما كان يقدم اقتراحات مهمة، وكاريل فان دام

وجيجس كالسبيك، للتعليق بعناية على المخطوطة، وفرانك نيل لنقده الحاد، الذي أدّى بقدر كبير إلى تحسين معالجتي للطاقة، وباري رودريك لجهوده بلا كلل للتخلص من الأخطاء المتعلقة بالأسلوب بينما كان يقدم التعليقات والدعم التحفيزيين إلى أقصى درجة، وجانين ميربورج، لدعمها الذي لا ينضب لهذا المشروع، وأمي وأبي، لدعمهما واهتمامهما الودودين، ومعهد دراسات الأفرع العلمية المشتركة، لإعطائي الفرصة لكتابة هذا الكتاب، وأخيرًا، وهي ليست بالتأكيد أقلّهم شأنًا، الشكر لزوجتي، جينا، لاهتمامها الذي لم يتوقّف، ولتحفيزها لي ولدعمها الودود، وأيضًا طفلاي لويس وجيليا، لصبرهما وفضولهما. ولا يمكن لأي من الأشخاص السابق ذكرهم أن يتحمَّل، بالطبع، وبأية طريقة أيّ مسؤولية عن وجهات النظر الواردة في هذا الكتاب.

فريد سباير

الفصل الأول
مقدِّمة للتاريخ الكبير

المقدمة

هذا الكتاب عن التاريخ الكبير: مقاربة للتاريخ تضع التاريخ البشريّ في سياق التاريخ الكوني، من بداية الكون حتى الحياة الراهنة على الأرض. ونلاحظ هنا انحرافًا جذريًا عن السبل الأكاديمية المستقرة في النظر إلى التاريخ البشري، إذ ينظر التاريخ الكبير إلى ماضي نوعنا البشري من داخل الصورة الكلية للتاريخ الطبيعي منذ الانفجار الكبير. وبذلك، يقدم التاريخ الكبير قصة علمية حديثة حول كيفية صيرورة كل شيء إلى ما هو عليه الآن. ونتيجة لذلك، يقدم التاريخ الكبير فهمًا جديدًا من الناحية الجوهرية لماضي البشر، ما يسمح لنا بتوجيه أنفسنا في الزمن والمكان بطريقة لم يفعلها أي تاريخ أكاديمي حتى الآن. ويُضاف إلى ذلك، أن مقاربة التاريخ الكبير تساعدنا على ابتكار إطار نظري جديد، يمكن فيه لكل المعارف العلمية أن تندمج من حيث المبدأ.

«التاريخ الكبير» تعبير ابتكره المؤرِّخ دافيد كريستيان[1] David Christian. ففي الثمانينات قدَّم كريستيان منهجًا عابرًا للأفرع العلمية في جامعة ماكواري، في سيدني، في أستراليا، قدَّم فيه أكاديميون يتراوحون بين علماء الفلك والمؤرِّخين محاضرات حول الأجزاء التي تخصهم في الماضي الشامل بالكامل. وأصبح هذا المنهج الدراسي نموذجًا لمناهج الجامعات الأخرى، بما في ذلك البرامج التي قمتُ بتدريسها منذ العام 1994، أولًا في جامعة أمستردام ثم بعد ذلك أيضًا في جامعة إيندهوفن التقنية.

رغم أن كل المعارف التي يتم تعليمها في مناهج التاريخ الكبير متاحة بسهولة في

المجال الأكاديمي، فإنه من النادر أن يتمَّ تقديمها على هيئة أساس تاريخي واحد. وهذا في الغالب نتيجة لحقيقة أنه خلال 200 سنة مضت، انقسمت الجامعات إلى عدد متزايد من التخصُّصات والأقسام. ورغم ذلك، فمنذ الثمانينات كان الأكاديميون من المؤرّخين إلى علماء الفيزياء الفلكية يقدمون تجميعات تاريخية رائعة جديدة، يقترحونها في كتب ومقالات.

في هذه الصفحات، أسعى إلى تفسير التاريخ الكبير. حيث يمثل هذا الكتاب أساسًا جديدًا لماضينا الشامل بالكامل. وبشكل أكثر وضوحًا، فإنه بناءً على أعمال عالم الفيزياء الفلكية الأمريكي إريك شايسون، تم اقتراح نظرية تاريخية لكل شيء، حيث يتم تحليل التاريخ البشري كجزء من هذا المخطط الأكبر. في الفصل الثاني سوف يتم تقديم هذه المقاربة النظرية، بينما سيتم تطبيقها في الفصول اللاحقة على التاريخ الكبير. في هذا الفصل الأول، تتم مناقشة عددٍ مختار من الأفكار الرئيسية التي تعتبر جوهرية من أجل فهم أفضل للتاريخ الكبير.

دراسة الماضي

لفهْم وجهة النظر عن التاريخ المقترحة في هذا الكتاب، من المهم أولًا طرح سؤال حول كيفية دراسة الماضي. صاغ مؤرِّخ هارفارد دونالد أوستروفسكي Donald Ostrowski إجابته بشكل محكم كما يلي: «يمكننا دراسة الماضي بشكل دقيق لأنه انتهى»[2]. بقوله هذا، يشير أوستروفسكي إلى حقيقة لا يمكن إنكارها، أن كل ما نعرفه عن التاريخ يمكن العثور عليه فقط في الحاضر، لأن هذه المعرفة لو لم تكن متاحة هنا والآن، فكيف يمكن لنا أن نعرفها؟ وتلك هي فحسب حالة تاريخ الكون نفسها كما هي حالة تاريخ البشر[3]. الفكرة أن كل المعرفة التاريخية الموجودة في الحاضر ليست وجهة نظر جديدة بين المؤرِّخين. ورغم ذلك، فمن النادر الإفصاح عنها بوضوح تام[4]. لديَّ أمل في أن أوضح، في التاريخ الكبير، أن هذه القضية ربما تكون حتى أكثر إلحاحًا مما هو موجود في التقارير التاريخية التقليدية.

لأن كل أدلّة الماضي يمكن العثور عليها فقط في الحاضر، فابتكار قصة حول الماضي يتضمَّن بالضرورة تفسير هذه الأدلة من خلال عمليات لها تاريخ معيّن في حد ذاتها. ونحن نفعل ذلك، لأننا ندرك أن كلًا من البيئة المحيطة وأنفسنا هما جزء من هذه العمليات. نتيجة لذلك، فإن كل التقارير التاريخية هي عمليات إعادة بناء

من نوع ما، لذلك من المرجَّح لها أن تتغيَّر بمرور الزمن. وهذا يعني أيضًا أن دراسة التاريخ لا يمكن أن تقدِّم تأكيدات مطلقة، ولكن مجرد تقريبات، لواقع كان موجودًا ذات مرة. بعبارة أخرى، ليست هناك تقارير تاريخية حقيقية. قد يبدو ذلك كما لو أن هناك انحرافات في طرق النظر إلى التاريخ. في رأيي، ليس الأمر كذلك. كما هو الحال في أي مجال علمي آخر، فإن الاختبار الرئيسي لعمليات إعادة البناء التاريخية هو ما إذا كانت، وإلى أيِّ مدى، تستوعب البيانات الموجودة بطريقة موجزة ودقيقة. ورغم ذلك قد لا يكون هناك طريق يلتف حول حقيقة أن كل عمليات إعادة البناء التاريخية تتألَّف من عدد مختار من البيانات الموجودة، تُوضع في سياق اخترعه المؤرِّخ.

فكرة أن كل معرفتنا بالماضي موجودة في الحاضر، تعني أيضًا أننا لا نعرف أي شيء حول الأمور التي لعلها قد حدثت ذات مرة، لكنها لم تترك آثارًا في الحاضر. لا نعرف أي شيء حول الأحداث التي تركت آثارًا بالفعل ولم يتم اكتشافها أو تفسيرها أيضًا. كل هذا قد يكون هو الجزء الأكبر مما حدث في التاريخ، ورغم ذلك فلن نعرفه أبدًا بالتأكيد. ربما يكون من المثير للدهشة، أن هذا الجانب المُثير للجدل في دراسة الماضي قد تلقَّى القليل من الاهتمام بين المؤرِّخين. ورغم ذلك لو أن الأمور كانت عكس ذلك، أي أن تحت تصرُّفنا معلومات شاملة حول كل شيء حدث في أي وقت، قد تُغرقنا تمامًا البيانات المتوافرة. يضاف إلى ذلك، كما قال وليام ماكنيل، إن فن إعادة البناء التاريخية على نحو مقنع إلى حد كبير يتوقف على ما تبقَّى من الماضي[5]. ونتيجة لذلك، فإن عمليات إعادة البناء التاريخية هي بالأحرى خرائط مرقَّعة.

لتقديم إعادة بناء تاريخية مقنعة إلى حد معقول، نحتاج أن ننجز أمرين على الأقل: (1) كشف حقيقة ما حدث في البيانات منذ نشأتها، بما في ذلك اكتشافها بواسطة البشر. و(2) كشف حقيقة ما تخبرنا به هذه البيانات حول الماضي. ومما يتعذَّر اجتنابه، أن الدراسات الأكاديمية تتضمن دائمًا هذين النوعين من إعادة البناء، رغم أن هذا لا يتضح دائمًا بالتأكيد بشكل جَليّ. بالنسبة للتاريخ الكبير قد تقدِّم النظرة الشاملة لكتاب بيل برايسون Bill Bryson الأكثر مبيعًا «تاريخ مختصر لكل شيء تقريبًا» تفسيرًا للنوع الأول من الحكاية التاريخية. بينما يقدم العمل المبدع الرائع لدافيد كريستيان «خرائط الزمن: مقدمة في التاريخ الكبير» مثالًا لكلا نوعَيْ إعادة البناء التاريخية[6].

في أي حكاية علمية عن الماضي يتم إنشاؤها باستخدام التفكير المنطقي، بما في

ذلك نوع الإطار النظري، الذي قد تتم صياغته إمَّا بشكل ضمني أو بشكل صريح على أكمل وجه، يجب أن تتطابق كل البيانات المتاحة مع هذا الإطار. مع ذلك تكون هذه الحالة نادرة في الممارسة، التي تتسبَّب في مناقشات طويلة لأجيال من المؤرِّخين والفلاسفة. ليس في نيَّتي أن أقدِّم نظرة شاملة حول هذه القضايا هنا. ورغم ذلك قد يكون من المفيد أن نضع في اعتبارنا أن الصفة الإنسانية المهمة التي تسمح لنا بإنشاء عمليات إعادة بناء، هي قدرتنا على تمييز النماذج ورسم الخرائط. البشر موهوبون بهذه القدرة إلى حدٍّ أكبر بكثير من الحيوانات الأخرى[7]. وهذه القدرة سمحت لجنسنا أن يصبح ما هو عليه الآن.

أيًّا يكن الشكّ الذي تتعرّض له إعادة البناء التاريخية، فإن التقارير الراسخة الوحيدة التي يمكننا بالفعل تقديمها تتعامَل كلها مع الماضي. من الواضح أننا لا نملك أية بيانات تحت تصرُّفنا حول ما يمكن أن يحمله المستقبل. ونتيجة لذلك، يمكننا فقط بناء سيناريوهات مرجَّحة تقريبيًا حول المستقبل، تقوم على معلومات مُستقاة من مراقبة ما يحدث في الحاضر. قد يرى البعض أنه من الممكن تقديم تقارير راسخة حول الحاضر، لكن لسوء الحظ، بالأحرى يعتبر الحاضر أيضًا نوعًا (زمنًا) متلاشيًا. ورغم أن الحاضر هو «مكان حدوث الفعل»، فبمجرد كلامنا عنه، يصبح جزءًا من الماضي. تلك هي أيضًا حالة التجارب العلمية. حتى أثناء إجراء القياسات العلمية، تتلاشَى إلى الأبد تلك الجوانب للحاضر التي نحاول السيطرة عليها. ومع ذلك، فإن ما نحتفظ به، لو أنجزنا عملنا بشكل جيد، هو بيانات الرصد، التي قد تكون باقية تقريبًا، وهذا يرجع إلى مدى جوْدة عملنا في تسجيلها. نتيجة لذلك، فإن كل دراسة عن الحاضر تصبح بالضرورة إعادة بناء للماضي. وهذا هو سبب أن التاريخ يجب النظر إليه باعتباره ملكة وملك العلوم[*].

بل يُعتبر الحاضر بالفعل صنفًا (زمنًا) أكثر إثارة للجدل. أوضِّحُ أحيانًا لطلابي أنه عندما ننظر إلى بعضنا في خلال اللقاءات، فإننا ننظر إلى صور لكل منا في الماضي. ولا التفاف حول هذه النتيجة. كل ما ندركه عن بعضنا بعضًا يقوم على بيانات حسّية: في مشهد الطالب-المدرِّس، يكون هناك غالبًا صوت وضوء، ولكن أيضًا روائح.

(*) تُعد الفيزياء والرياضيات ملك وملكة العلوم على التوالي، وهنا يقترح المؤلف أن يُستبدل التاريخ بالاثنين معًا.

وتستغرق هذه البيانات وقتًا لتصل إلينا. ينتقل الصوت على مستوى البحر تحت ما يسمَّى بالشروط النموذجية بسرعة 1225 كم في الساعة تقريبًا (761 ميلًا في الساعة)، بينما ينتقل الضوء في الفراغ بسرعة 1079252848 كم في الساعة (نحو 670616629 ميلًا في الساعة). ورغم أنه، خلال انعقاد فصل أكاديمي، تكون التأخيرات في الزمن قصيرة جدًا وبالتالي من المفترض أنها لا تستحق الاهتمام، فإنها تكون موجودة. نتيجة لذلك، نحن ننظر دائمًا إلى صوَر من الماضي، بينما الحاضر الوحيد الذي يمكننا اعتباره مؤكدًا نجده داخل أنفسنا.

ورغم ذلك، حتى هذا القوْل مثير للجدل. قد يتساءل المرء، على سبيل المثال، عن المكان الذي يوجد فيه الحاضر داخلنا. إنه موجود في أمخاخنا، أين -من المفترض- يوجد وعينا بأنفسنا وبالعالم المحيط بنا؟ بالتأكيد، إن أيَّ بيانات حسية نلتقطها، مثلًا، بأعيننا أو أصابعنا يجب أن تستغرق وقتًا للوصول إلى أمخاخنا. وعندئذ، قد يتساءل المرء، أين بالضبط في أمخاخنا؟ من هنا أستنتج أن كل وجهات النظر الشائعة الاستخدام حول حاضر مشترك ومعروف هي حالات إعادة بناء إنسانية.

مع وضع التفاعلات الإنسانية المباشرة في الاعتبار، قد يبدو ذلك مثل البحث عن خطأ تفاصيله غير مهمة. ورغم ذلك فإنه في التاريخ الكبير ما أسرع أن تصبح هذه المشاكل كاسحة. حيث ما الذي يمكننا قوله حول حاضر مواقعنا، مثل وضعنا الراهن في الكون؟ ولأن الكون أكبر بكثير، فإن الضوء يحتاج إلى زمن طويل للوصول إلينا. وبشكل عام، كلما زادت مسافة انتقال الضوء قبل الوصول إلينا، كلما زادت مدة وجوده. لذلك يقول علماء الفلك إنه، بالتقاط الضوء من السماء، فإننا نسبر غوْر الماضي عائدين إليه في الزمن[8]. وهذا يعني على الفور، في الحالة الراهنة للمعارف، أنه من المستحيل الحصول على وجهة نظر شاملة عن الكون في شكله الراهن، لأن أغلب الضوء الذي يتم بثه الآن في الكون لم يصل إلينا بعد.

دراسة التاريخ تتضمَّن بالضرورة استخدام إطار الزمن الذي يسمح لنا بتنظيم الأحداث التي ندرِّسها تبعًا لزمن حدوثها. خلال القرون الماضية، توسَّع المؤرِّخون إلى حد كبير في جهودهم لإعادة بناء مثل هذا الإطار الزمني الجدير بالثقة حسب تتابع الأحداث، وهو ما أصبح العمود الفقري للتاريخ. وهذا الإطار الزمني التاريخي مركز على الأرض، بينما تتيح الأحداث المتكرِّرة لمدار الأرض حول الشمس (السنوات)

ودورانها حول محورها الخاص (الأيام والليالي) معالم مستقرة تجعل من الممكن تقسيم الإطار الزمني لتتابع الأحداث إلى أيام، وأسابيع، وأشهر، وسنوات، وعقود، وقرون، وألفيات. لدراسة الفترة الزمنية للتاريخ الإنساني الراهن، نحو 10000 سنة، كانت هذه الحركات الدورانية مستقرَّة بما يكفي لئلّا تسبب مشاكل خطيرة. ورغم ذلك بمجرد أن نبدأ في فحْص تاريخ الأرض، الذي يغطِّي فترة زمنية نحو 4,6 مليار سنة، نجد أن دوران الأرض حول محورها قد تباطأ باستمرار، بينما لا يمكننا التأكد من أن مدارها حول الشمس لم يتغيَّر هو أيضًا. بعبارة أخرى، بما أنه من المحتمل أن السنوات كانت مختلفة في الماضي، فإن الأيام والليالي كانت أقصر أيضًا إلى حدٍّ كبير.

ولأننا، في التاريخ الكبير، نريد اقتفاء أثر الأحداث رجوعًا حتى بداية الكون، فمع التفكير الآن في ما قد حدث منذ نحو 13,7 مليار سنة، أي قبل ظهور الأرض والشمس بوقت طويل، تصبح هذه القضايا أكثر قسوة بكثير. من الواضح أننا لا نستطيع اقتفاء أثر بقايا الأحداث الكونية المبكِّرة بأية طريقة سوى رصدها في الحاضر من منظور أرضي. نتيجة لذلك، عندما ننجز عمليتنا لإعادة بناء التاريخ الكبير، لا مفرَّ من استخدام إطار الزمن الأرضي الذي ينتهي في الحاضر. وليس لدينا ببساطة أي إطار زمني آخر يمكنه أن يقوم بهذا العمل. لذلك فإن الإطار الزمني لحكايتنا التاريخية الكبيرة يتركز بالضرورة علينا. وهذا لا يعني، بالطبع، أن تطوّر الكون يتركز على الأرض. بل يعني فقط أن حكايتنا عنه تتركّز على الحاضر.

قد تحتاج هذه النقطة إلى المزيد من الاستفاضة. باستثناء النيازك والأجرام الكونية الأخرى، فإن كل البيانات التي نستقبلها من بقية الكون تتكوَّن من أنواع من الإشعاعات الكهرومغناطيسية. وتبعًا للمسافة وسرعاتنا النسبية، يستغرق الأمر كمية معنيَّة من الزمن قبل أن يصل إلينا هذا الإشعاع. والإشعاع المنبعث من أحداث وقعت منذ زمن طويل، وعلى بعد كبير، قد تصل إلينا الآن فقط، بينما إشعاع أحداث أخرى وقعت في وقت أحدث، قد تصلنا في الوقت نفسه. لا نعرف أي شيء، مع ذلك، حول أحداث أخرى أيضًا قد تكون وقعت في وقت أكثر حداثة لكنها بعيدة، لأن هذا الإشعاع لم يصل إلينا بعد. بطريقة مماثلة، لا نعرف أيضًا أي شيء حول أحداث وقعت منذ زمن بعيد قريبة من الأرض، لأن هذا الإشعاع مرَّ بنا بالفعل ولن يعود أبدًا.

نتيجة لذلك، فإن قدرتنا على إعادة بناء ماضي الكون بمساعدة الإشعاع

الكهرومغناطيسي المرصود محدودة. بالنسبة لـ 10000 سنة التي مضت في تاريخ البشر، على سبيل المثال، لا يمكننا حتى معرفة كيفية تطور مجَرَّتنا مجَرّة درب التبَّانة، لأننا ما زلنا ننتظر وصول أغلب الإشعاع. حول ما حدث في الكون خلال فترة العولمة (نحو 500 سنة)، لدينا بيانات فقط عن الكون عند مسافة، على أبعد تقدير، 500 سنة ضوئية، وهو جزء صغير جدًا من مجرتنا. بعبارة أخرى، كلما اقتربنا من الحاضر، كلما قلّت معرفتنا حول الكون عمومًا. وبمجرد اقترابنا من الحاضر، يكون لدينا فقط بيانات رهن تصرفنا تخصّنا، ولا نملك كل البيانات الأخرى حول الماضي الذي انتهى إلى الأبد. وهذا هو سبب أن حكايات التاريخ الكبير مركزة بالضرورة حول الأرض والبشر.

قد يرى البعض أنه، بسبب أن البشر كانوا يرصدون السماء منذ آلاف السنوات، فإن لدينا بيانات تجعل من الممكن بالفعل إعادة بناء فترات زمنية أطول لتاريخ الكون. سِجلّات انفجار النجوم القديمة، على سبيل المثال، التي كتبها راصدون معاصرون، إضافة إلى راصدين محدَثين، تجعل من الممكن إعادة بناء سلسلة من الأحداث وقعت بعد أن انتهت هذه المفرقعات النارية الكونية. لكن هذا لا يُبطل المبدأ العام، أي أننا لو كنَّا نرغب في دراسة البيانات التجريبية (أظن الأصح كلمة البيانات التقديرية أو التحليلية) من الكون التي تولَّدت في فترة قريبة من الحاضر، لا بد أن تكون قد تولَّدت قريبة منَّا. وقد يكون من المناسب افتراض أن بقية الكون قد تطوَّر بطرقٍ مماثلة لجيراننا الأكثر قربًا في الكون. لو أن الأمر كذلك، فإن مشهد تاريخنا الكبير سيكون أكبر دون شك. ورغم ذلك، فإنه بواسطة تقنيات الرصد الراهنة، مثل هذا الافتراض لا يمكن أن يقوم على البيانات التجريبية وربما يكون خاطئًا نتيجة لذلك. لو كنَّا نرغب في التمسُّك بحكاية التاريخ الكبير القائمة على البيانات التجريبية، فإنها ستكون بالضرورة مركَّزة على الأرض.

مجمل القول، بما أن البيانات التي نستخدمها لإعادة بناء الماضي توجد حتمًا في الحاضر، فإن تحليلاتنا ستكون دائمًا مركزية بشرية anthropocentric ومركزية أرضية geocentric إلى حدٍّ ما. من ثم، يتكوَّن فن إنجاز تحليلات تاريخية ضخمة لتاريخ الكون، بادئ ذي بدء، في التعرف عليه، ثم التعامل مع البيانات تبعًا لذلك. وليس هذا سهلًا. ورغم ذلك، يبدو أن هذا هو الأمر الوحيد المعقول الذي يمكننا فعله.

فكرة أن معارفنا عن الماضي توجد في الحاضر يمكن تعديلها بالقول إنه لو كنَّا

نرغب حقًا في معرفة كيفية نشوء كل شيء نرصده، علينا أن ندرس التاريخ الكبير. على سبيل المثال، سوف نرى في الفصل الثالث أن لَبِنات البناء التي تشكل تعقّدنا الشخصي حاليًا، مثلها مثل كل التعقد الذي يحيط بنا، يمكن اقتفاء آثارها في الماضي حتى انبثاق وتطوُّر الكون. هذا التبصُّر الأساسي نفسه يقدم سببًا إجباريًا لأن يكون التاريخ الكبير مهمًا بالنسبة لكل الناس الذين يهتمون بأصل أي شيء من وجهة النظر العلمية.

أدركت أغلب المجتمعات البشرية ذلك وجدانيًا. وكما كان دافيد كريستيان يؤكِّد مرارًا، فإن كل مجتمع معروف حكى قصصًا حول كيفية نشأته، ونشأة كل شيء حوله. ومن وجهة نظر أكاديمية، يتم الآن اعتبار مثل هذه الحكايات أساطير نشوء(9). لكن هذا لا يعني أنه يجب اعتبار هذه القصص غير مهمة. على العكس، إنها تعطي غالبًا اتجاهًا مشتركًا، أي هويات وأهداف. وحتى الآن، فإن أغلب، إن لم يكن كل، البشر تعرَّضوا إلى مثل هذه القصص بطريقة أو بأخرى. ونحن لا نعرف، بالطبع، ما إذا كان كل الناس يؤمنون بها تمامًا باستمرار. وبالتأكيد، يبدو من الحكمة الظن بأن الشكّاكين كانوا موجودين في كل المجتمعات الإنسانية. ومع ذلك علينا الظن بأنه في أغلب، إن لم يكن في كل، الجماعات البشرية المبكرة كانت الأغلبية تشترك في وجهات النظر هذه، لأنه في الغالبية العظمى من الحالات، كان عدد وجهات النظر المتنافسة المتاحة عن العالم محدودة، هذا إذا كانت موجودة على أي حال.

خلال ظهور مجتمعات الدولة المبكرة بين 6000 و5000 سنة مضت، بدأت نخب الدولة الجديدة في ترويج قصص النشوء المفضَّلة لديها، بينما تم تهميش الأنواع المنافسة غالبًا. ولوقت طويل، كان أغلب، إن لم يكن كل، هذه التواريخ الكبيرة الأسطورية محلية أو إقليمية في طبيعتها. ويعكس هذا حجم المجتمعات التي حكت هذه القصص ومدى اتصالها بالمجتمعات الأخرى. على سبيل المثال، لا تتضمن وجهة نظر الإنكا الماضي الأزتكي في المكسيك، ناهيك عن الأوربيين (رغم أنه تم تفسير بعض قصصهم لاحقًا بأنها ترجع إلى الشعب الأبيض). كان مركز العالم هو منطقتهم الخاصة. وكانت مدينة كازكو العاصمة، على سبيل المثال، تعتبر سُرَّة العالم.

عندما أصبحت المجتمعات أكثر ضخامة وأكثر ترابطًا، انتشرت بعض قصص النشوء هذه أبعد من ذلك وعلى نطاق أوسع، بينما ارتحلت أخرى أقل بكثير. وتتضمن الأمثلة الناجحة لقصص النشوء سفر التكوين في التوراة، وهناك قصص مماثلة في

القرآن والحكايات التاريخية الهندوسية[10]. ولقد أدّت عملية العولمة، التي بدأت في القرن السادس عشر، إلى نشر قصص النشوء الخصوصية هذه وتهميش، إن لم يكن انقراض كامل، لأغلب الحكايات الأخرى المماثلة[11]. وفقط في وقت حديث جدًا ظهرت مجتمعات حيث اخترقت أفكار علمية حديثة المجال العام، بينما ابتعدت حكايات النشوء الأسطورية في أغلبها إلى المجال الخاص. في الوقت الحالي، من المفترض أن الجامعات قد احتكرت دراسة التاريخ، حيث يتم تعريفه باعتباره تاريخ الأشخاص المتعلّمين، ونتيجة لذلك تم إبعاد كل حكايات الماضي الأخرى. لماذا يقوم الوسط الأكاديمي بتعريف التاريخ بهذا الشكل؟

تاريخ ملخص جدًا للتاريخ الأكاديمي

ظهر الفرع العلمي الأكاديمي الحديث في القرن التاسع عشر كجزء من تكوين الدول القومية في أوربا وأمريكا. كانت المهمة الأولى للمؤرِّخين الأكاديميين صياغة تاريخ مشرِّف لدولتهم القومية الخاصة (لا يزال يسمى التاريخ الوطني في هولندا)، والذي يقدم هوية مشتركة لسُكّان هذه الهويات الاجتماعية الجديدة. وعندما يفعلون ذلك فإنهم يتَّبعون خطوات المؤرِّخين الرومان في العصور القديمة مثل تيتس ليفياس Titus Livius. وأدى إنشاء تاريخ وطني إلى التأكيد على استخدام الوثائق المكتوبة. خلال مجرَى الزمن، بدأ المؤرِّخون أيضًا في دراسة جوانب أخرى في كلٍّ من مناطقهم «الخاصة» والمناطق الأخرى، بينما أصبحت دراسة التاريخ القومي منعزلة إلى حدٍّ كبير. ومع ذلك ففي المجتمع الأكاديمي كان من النادر فحسب ممارسة دراسة التاريخ البشري في مُجمله حتى الوقت الراهن[12]. قد يرتبط هذا الموقف اللافت للنظر بحقيقة أن فعل ذلك قد يُنتج هويات عالمية، وهو ما لم يكن مصحوبًا بشكل مباشر بأي مجتمع دولة راهن قابل للنمو[13].

نتيجة للاهتمام بالمصادر المكتوبة، بدأ أغلب المؤرِّخين تكوين وجهات نظرهم الشاملة عن ظهور المجتمعات المتعلّمة. ويتم تركيز الانتباه عادة على هذه الدول المبكرة (والتي تُوصف غالبًا بـ «الحضارات») والتي يتم اعتبارها بشائر لمجتمعاتها «الخاصة». ويُطلق على بقية التاريخ البشري «ما قبل التاريخ» ويُترك لعلماء الآثار[14]. بينما يبدو أن سبب تقسيم العمل الأكاديمي هذا يعود بشكل أساسي إلى الاهتمام بالمصادر المكتوبة، وقد يكون هناك جانب آخر له. شدَّد المؤرِّخ الأمريكي دان سمايل

Dan Smail في 2005، على أن المدى الزمني الذي يغطيه المؤرِّخون الجدد، نحو 6000 عام، يماثِل جدًا الفترة الزمنية الكلية للتاريخ كما جاء في العهد القديم. قد يتذكر القارئ أنه، تبعًا للحسابات الشهيرة التي قدَّمها الكاهن الإنجليزي جيمس أوشر James Ussher في العام 1654 ميلادية، ربما خُلق العالم التوراتي في 4004 قبل الميلاد. هل هذا التماثل بين الزمن التوراتي والفترة الزمنية التي يغطيها المؤرِّخون الرسميون حدث بالمصادفة، كما تساءل سمايل، أو ربما لا يزال المؤرِّخون المعاصرون «عالقين في كلَّابة التاريخ المقدس»؟[15].

في القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر، كما يقول سمايل، تمَّت كتابة دراسات تاريخية معروفة متعددة في أوربا الغربية وأمريكا الشمالية تبدأ مع القصة التوراتية. ومن ثم، تم دمج المعارف المكتسبة حديثًا حول تاريخ الشعوب حول العالم مع هذه الحكايات. وأصبح بعض هذه الكتب رائجًا جدًا وتم طبعه بأعداد كبيرة. ورغم ذلك عندما اكتسبت الدول القومية شكلها -ومعها المهنة التاريخية الأكاديمية- تم تجاهل هذه القصص في المجتمع الأكاديمي. ولم يظهر أي تاريخ أكاديمي علْماني للبشر، رغم أن ليوبولد فون رانك Leopold von Ranke، البطل الثقافي الرئيسي بين المؤرِّخين الأكاديميين، كان داعمًا إلى حد كبير لكتابة تاريخ بشري، وهو ما أطلق عليه Weltgeschichte (تاريخ العالم) وUniversalgeschichte (التاريخ الشامل[16]. وكان المؤرِّخون التنويريون، مثل دافيد هيوم David Hume، وإدوارد جيبون Edward Gibbon، ووليام روبرتسون William Robertson وفرانسوا - ماري أروت دو فولتير Francois-Marie Arouet de Voltaire، الذين أصبحوا أبطالًا للمؤرِّخين الأكاديميين، يميِّزون أنفسهم عن المقاربات الدينية، و ربما نتيجة لذلك، تجاهلوا البحث عن قصص النشوء. وبينما كانوا يهاجمون أحيانًا التاريخ البشري الشائع، أنتج هؤلاء المؤلفون تاريخًا عن «أممهم»، وعن الأمم الأخرى المماثلة بالإضافة إلى «ثقافاتهم» بتتبع ماضي هذه الثقافات حتى العصور القديمة[17].

خلال النصف الأول من القرن العشرين، كانت هناك فقط قلة من المؤرِّخين الأكاديميين الذين كرَّسوا أنفسهم بشجاعة، وأشهرهم آرنولد توينبي Arnold To[illegible]. عكفوا على دراسة التاريخ البشري المفعم بالحيوية. مع ذلك، وبعيدًا عن المجتمع الأكاديمي، ظل التاريخ البشري شائعًا، مثل الكتب التي كتبها هـ. ج. ولز

H. G. Wells. من المرجَّح أكثر، أنه تم تحفيز هذا الاهتمام بعملية العولمة المتنامية. ورغم ذلك، فعلى سبيل المثال، جادل المؤرِّخ البريطاني جوفري باراكلوف Geoffrey Barraclough بقوة لصالح أنواع جديدة من «التاريخ العالمي، أو العام» حتى منذ 1955، وحتى الآن لم يحتضن أغلب المؤرِّخين الأكاديميين بعد مثل هذه الحكايات عن المغامرة البشرية على الأرض[18]. مع ذلك، بدأت، في منتصف القرن العشرين، بعض التغيرات بالحدوث. تبعًا لمثال توينبي، احتلت قلة من المتخصصين بعيدي النظر موقع القيادة، وأكثرهم شهرةً المؤرِّخان الأمريكيان وليام ه. مكنيل William H. McNeill وليفتين س. ستافريانوس Leften S. Stavrianos، بينما كتب المؤرِّخ البريطاني جون روبرتز John Roberts «تاريخ العالم». أدرك كل هؤلاء المؤلفون أنه من أجل فهم أفضل للتاريخ الحديث كان من المهم متابعة ماضي الطريق إلى أصل الأرض، إن لم يكن الأمر متابعة المزيد. وفي وقت أكثر حداثة، كان المؤرِّخ بوب مور Bob Moore في جامعة نيوكاسل، وهو أحد طلاب روبرتز، رائدًا إنجليزيًا في التاريخ البشري. في الثمانينات، بدأت فكرة التاريخ البشري (ويُسمَّى عادة «تاريخ العالم» في الولايات المتحدة) في الدخول في العوْلمة. والمثال الجيد لهذا النوع من الدراسة هو كتاب «الشبكة البشرية The Human Web» للأب والأبن وليام ه وجون ر. ماكنيل William H. and John R. McNeill، الذي نُشر في 2003.

لم يكن المؤرِّخون الأكاديميون وحدهم مَنْ أعطوا القليل من الاهتمامٍ نسبيًا للتاريخ البشري في مجمله، لكن بتعريف التاريخ على أنّه تاريخ الشعوب المتعلّمة، قاموا أيضًا بتجاهل ماضي كل شيء آخر يمكننا ملاحظته حولنا تقريبًا. نتيجة لذلك، أصبح تاريخ الحياة مجالًا لعلماء البيولوجيا، واهتم علماء الجغرافيا بتاريخ كوكبنا، بينما كان علماء الفلك وعلماء الكون يعيدون بناء تاريخ الكون. خلال السنوات الخمسين الماضية، أو ما يقرب من ذلك، كان هناك فقط قلّة من الأكاديميين الذين حاولوا صياغة كل هذه القصص في حكاية تاريخية وحيدة متماسكة لتفسير كيف أننا، بالإضافة إلى كل شيء حولنا، أصبحنا على ما نحن عليه الآن.

تاريخ ملخَّص لتاريخ كبير

لأنه لم يوجد بعدُ فرع علمي أكاديمي راسخ للتاريخ الكبير، لا يبدو أن هناك من

كتب تاريخًا للتاريخ الكبير، ونتيجة لذلك، بدأ تراث للتاريخ الكبير. وعلى العكس، ابتكرت كل الأفرع الأكاديمية الراسخة تاريخها وتراثها الخاص. وفي ما لا يشبه التاريخ البطولي للدول القومية، دار تاريخ الأفرع العلمية الأكاديمية تمامًا حول أبطالها الثقافيين، بينما كان من النادر أن تشير إلى الظروف الاجتماعية والبيئية التي كانت تعمل فيها هذه الشعوب. وكانت تتم الإشارة عادة إلى أبطالها الأقل أهمية في كتب دراسية خاصة، بينما يتم بقدر الإمكان إبعاد الأوغاد، أو الجوانب الأقل قابلية للاحتفاء بها لدى الأبطال، خارج القصة. وكان هذا ينقل بشكل حتمي تقريبًا فكرة «التقدم» في العلم.

بوضع هذه التوضيحات في الاعتبار، سوف نلقي نظرة الآن على الآثار الواضحة التي يمكن أن تصبح قصة للتاريخ الكبير. حتى الآن، لا يمكنني الزعم بأن لديَّ نظرة شاملة تلقي ضوءًا على كل اللاعبين الأساسيين، الطيِّبين أو السيِّئين. قادني بحثي إلى بعض النتائج غير المتوقَّعة، وقد يتضح أنه كان هناك بالفعل الكثير جدًا من المتخصِّصين في وقت مبكر، أنتجوا تاريخًا كبيرًا أكثر ممن تمت الإشارة إليهم هنا. ومثل كل الحكايات الأكاديمية الأخرى، تعتبر قصتي عن التاريخ الكبير لقطة في الزمن. لذلك من المرجَّح أن تتغير في مكان ما في المستقبل.

أول رائد للتاريخ الكبير – وبذلك يعتبر أول بطل ثقافي لنا – قد يكون ألكسندر فون هامبولدت Alexander von Humboldt (1769–1859)، وهو الرجل الأكثر ذكاءً وحساسية في السلالة البروسية. خلال حياته، كان هامبولدت مشهورًا شهرة ألبرت آينشتاين اليوم. كانت أغلب أعماله مقروءة في كل العالم الأكاديمي شمال الأطلنطي. وحيث إنه كان معروفًا عادة بأنه أب الجغرافيا (إذ تمّ الإقرار بأنه أحد أبطالها الثقافيين)، اهتم فون هامبولدت بكل شيء، من الشعوب وثقافتها حتى الكون في مجمله. في أواخر حياته، بدأ فون هامبولدت في كتابة سلسلة متعدِّدة المجلدات تُسمَّى كوسموس Kosmos، تعمَّد من خلالها تلخيص كل المعارف الموجودة حول تاريخ الطبيعة، بما في ذلك التاريخ البشري كما فهمه، وأطلق على مقاربته «التاريخ الكوني للكون»[19]. ونُشر أول مجلد في 1845 ميلادية في ألمانيا. وقد قُرِئت هذه الكتب على نطاق واسع وتُرجمت إلى الكثير من اللغات. ولسوء الحظ، توفِّيَ فون هامبولدت قبل الانتهاء من المشروع.

في المجلد الأول، لخَّص برنامجه كما يلي[20]:

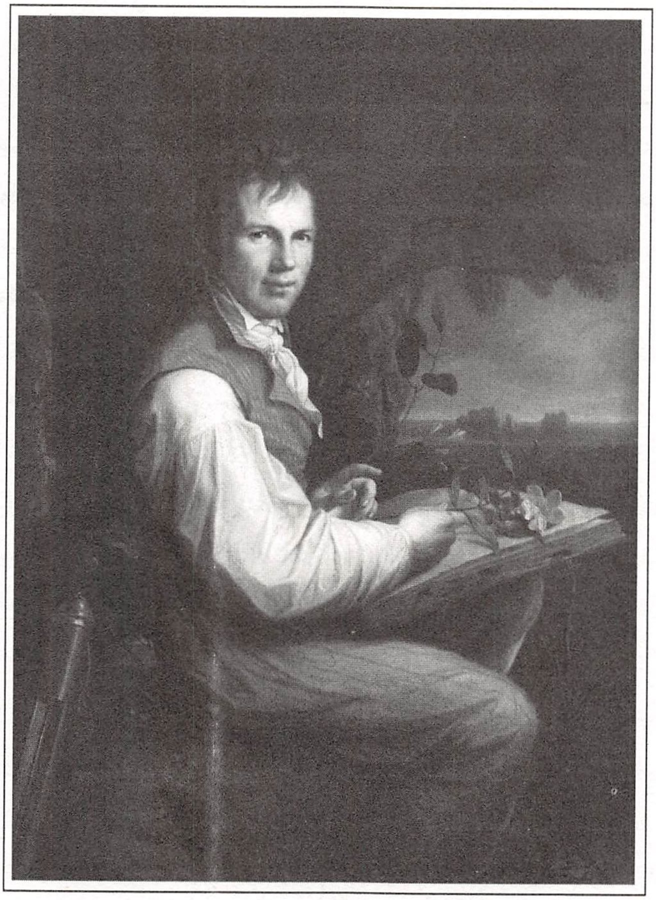
«مع البدء بأعماق الفضاء ومناطق السُّدم الأكثر بعدًا، سوف نهبط بالتدريج عبر المنطقة النجمية التي تنتمي إليها مجموعتنا الشمسية، إلى كرتنا الأرضية، المحاطة بالهواء والمحيطات، ومن ثم جُذب اهتمامنا مباشرة بشكلها، ودرجة حرارتها والشدِّ المغناطيسي، ثم النظر في اكتمال الحياة العضوية التي أظهرت نفسها على سطحها تحت التأثير المفعم بالنشاط للضوء. وبتوحيد، تبعًا لوجهة نظر ما، لكلٍّ من ظواهر كرتنا الخاصة وتلك الممثلة في مناطق الفضاء، فإننا نعانق حدود علم الكون، ونحوِّل التاريخ الفيزيائي للكرة الأرضية إلى التاريخ الفيزيائي للكون، حيث تشكل نموذج أحدهما تبعًا للآخر».

لم يعمل ألكسندر فون هامبولدت، الموضَّحة صورته في الشكل (1-1)، داخل الإطار الجامعي. استطاع إنجاز جزء مهم من بحثه وكتاباته بفضل إرث، جعله مستقلًا من الناحية المالية. وهذا الاستقلال سمة للكثير من المفكرين المبدعين، بما فيهم روبرت شامبرز Robert Chambers، وتشارلز داروين Charles Darwin، وألبرت آينشتاين وجيمس لوفلوك[21] James Lovelock. ورغم أن فون هامبولدت لم يلتحق أبدًا بأيِّ جامعة، فإنه كان جزءًا أساسيًا من التراث العلمي البازغ لشمال الأطلنطي، الذي أسهم فيه بقدر كبير.

قبل استعداد فون هامبولدت لكتابة «الكون»، كانَ قد تابع ما يمكن اعتباره مِهنة مثيرة بأي معيار تقريبًا. بعد أن تدرَّب كمفتش تعدين، سافر فون هامبولدت في نهاية القرن الثامن عشر عبر الأمريكتين لخمس سنوات مع زميل فرنسي هو إيميه بونبلان Aime Bonpland، حيث مَرّا بتجارب مُثيرة للدهشة إلى أقصى حد، وهما ينجزان نطاقًا من القياسات العلمية -مذهلة تقريبًا- في سن 29 عامًا على سطح مركب شراعي كبير في انتظار مغادرة إسبانيا في اتجاه العالم الجديد، صاغ فون هامبولدت هدفه الرئيسي في خطاب يحمل تاريخ 5 يونيو 1799، كما يلي:

«سأحاول البحث في كيفية التفاعل بين قوى الطبيعة وكيفية تأثير البيئة الجغرافية على حياة النبات والحيوان. بعبارة أخرى: عليَّ البحث في وحدة الطبيعة[22]».

رغم أن هذا يبدو مألوفًا للعلماء حاليًا، كان البحث عن تفسير لأنشطة الطبيعة من دون اللجوء إلى أي تفسير خارق للطبيعة، لا يزال فكرةً ثورية منذ 200 سنة.



الشكل (1-1): ألكسندر فون هامبولدت، من رسم فريدريش جورج ويتش في 1806. (المصدر: Staatliche Museen zu Berlin).

في ذلك الوقت، كان الأوربيون المسموح لهم بالسفر إلى أمريكا الإسبانية من المواطنين الإسبان فقط. وحتى هؤلاء الأشخاص كانوا يتعرَّضون لقيودٍ كثيرة جدًا. كان هذا جزءًا من الجهود الحكومية الإسبانية للسيطرة على مستعمراتها الأمريكية، التي أصبحت تعيل نفسها اقتصاديًا. نتيجة لذلك، كانت المستعمرات الأمريكية الإسبانية، بالنسبة لأغلب الأوربيين، أرضًا مجهولة تقريبًا. ومع ذلك، ولأن جزءًا كبيرًا من الدخل الملكي الإسباني كان يأتي من أنشطة التعدين في الأمريكتين، ولأن التمويلات الملكية

كانت محدودة جدًا، فإن أي بحث يمكن أن يساعد في اكتشاف المزيد من هذه الثروة يُعتبر ذخيرة مُرحَّبًا بها. وهذا يفسر سبب أن ألكسندر فون هامبولدت حصل على إذنٍ ملكيٍّ خاصّ لإجراء بحثه، واستخدمه لصالحه. وساعد ذلك أيضًا في تفسير سبب أن رحلته تبعها اهتمام كبير في غرب أوربا، وفي الساحل الشرقي لما تتكوَّن منه الآن الولايات المتحدة[23]. وسمحت عملية العولمة المعاصرة لفون هامبولدت بالسفر بالطريقة التي اتّبعها والتي نال شهرةً بسببها، على الأقل بين دوائر المتعلّمين في أمريكا وأوربا. وكان من المفيد جدًا أيضًا، في ما لا يشبه الوضع الراهن، أن قلة قليلة جدًا من السياسيين القادة علماء جيدين[24].

اهتم الكسندر فون هامبولدت اهتمامًا كبيرًا بتحديد مصادره الأكاديمية. وشمل ذلك الاختصاصيين البارزين في زمنه، مثل عالم الرياضيات الفرنسي وعالم الكون بيير سيمون دو لابلاس Pierre Simon de Laplace وعالم الطبيعة البريطاني تشارلز ليل[25] Charles Lyell. وسمح لنا هذا بفهْم النظام الثقافي الذي عمل خلاله فون هامبولدت. في أوائل القرن التاسع عشر، كان هؤلاء الاختصاصيون المثقفون، وأغلبهم علماء تاريخ طبيعي، قد اقتنعوا بالفعل بأن الكون والأرض كانا موجودين من وقت أطول مما تسمح به الحكاية التوراتية، وأن المرء يمكنه فهْم الطبيعة والجنس البشري بشكل أفضل باستخدام العلم أكثر بكثير من اتباع التراث الديني.

الأكثر أهمية، أن المتخصص الفرنسي (الألماني المولد) بول-هنري ثيري Paul-Henri Thiry بارون دهولباش (1723-89) كان قوةً رائدةً في ترويج هذه الأفكار. فبعد أن ورث ثروة، وأصبح مستقلًا من الناحية المالية. وباعتباره مفكرًا ملحدًا رائدًا والمشارك الأكثر نشاطًا في التنوير الفرنسي، كتب دهولباش وترجم ما لا يُعَدّ ولا يُحصى من المقالات في مجموعة كبيرة من الموضوعات لدائرة المعارف الشهيرة لديدرو وألمبرت. وفي كتابه الشهير والمقروء على نطاق واسع «نظام الطبيعة أو قوانين العالم الفيزيائي والعالم الأخلاقي» الذي نشر في العام 1770 في أمستردام تحت الاسم المستعار جان بابتيست دو ميرابو Jean Baptiste de Mirabaud، وضع هولباش البشر على نحو واضح في بقية الطبيعة، بما في ذلك الكون، الذي رآه محكومًا فقط بالمادة، والحركة والطاقة (وهي وجهة نظر حديثة بالأحرى). كان جوهر جدله إنكار أي تفسيرات دينية للطبيعة أو الأحكام المقدسة لقواعد أخلاقية للبشر. وبدلًا

عن ذلك كان هولباش يرى أنه يجب أن يكون البشر أحرارًا في ملاحقة السعادة، وهو ما قد يؤدّي تلقائيًا، إذا تم فعله على الوجه الصحيح، إلى مجتمعات متناغمة. والأكثر ترجيحًا في الغالب، أن هذه المقاربة الثورية للأخلاق الإنسانية ألهمت توماس جيفرسون Thomas Jefferson تضمين العبارة الشهيرة «ملاحقة السعادة» في إعلان الاستقلال الأمريكي[26] في 1776. ولأن هولباش لم يحاول إنجاز مخطط لكل شيء، لم يتم اعتباره مؤرِّخًا مبكرًا للتاريخ الكبير. لكن مع ذلك، فإن مقاربته في النظر للبشر كجزء من الطبيعة التي تحكمها القوانين الطبيعية أسهمت إلى حد كبير في تمهيد الطريق أمام التاريخ الكبير.

في ذلك الوقت، كانت قلة من الفلاسفة الأوربيين المستنيرين قد قدمت أيضًا مساهمات مهمة في فهم الطبيعة والمجتمعات البشرية من دون اللجوء إلى تأثيرات فوق الطبيعة. وفي كتابه الرئيسي «العالم، أو مقالة الضوء»، الذي نُشر بعد وفاته في العام 1664، حلل الفيلسوف الفرنسي رينيه ديكارت Rene Descartes أنشطة السماوات بمصطلحات العمليات الطبيعية دون أي تدخُّل مقدَّس. وبابتكار هذه الأفكار في العام 1755، نشر الفيلسوف الألماني عمانوئيل كَنط Immanuel Kant باسم مستعار أفكاره حول الكون، بما في ذلك نظرية حول كيفية ظهور المجموعة الشمسية والتي ما زالت مقبولة حتى الآن، بالإضافة إلى فكرة أن السُّدُم كانت بالفعل أكوان معزولة بعيدًا في ما وراء مجرتنا درب التبانة. ومثل ديكارت، رأى كَنط أن كل هذه الأشياء ظهرت نتيجة قوى طبيعية. مع ذلك، فمن وجهة نظر كَنط كان العمل المقدس لا يزال قابلًا للكشف عنه في الطرق التي تُشكِّل بها قوانين الطبيعة الواقع. من الواضح، أن تلك كانت محاولة لحماية نفسه من اتهامات بأنه ملحد. في العام 1784، روَّج كَنط لفكرة أن التاريخ الشامل -وهو ما نطلق عليه اليوم التاريخ البشري- يقوم فقط على التفسيرات الطبيعية، رغم أنه كان مصحوبًا بتحيّز غائي. وتبعًا للفيلسوف العظيم، كان هناك هدف في الطبيعة بالنسبة للتاريخ البشري، وهو «إنجاز مجتمع مدني شامل يدير القانون بين البشر لإنتاج مواطنين عالميين كاملين»[27]. ورغم أن كَنط لم يكتب أبدًا تحليلًا شاملًا من منظور واحد فقط، يتم اعتباره من الأسلاف المهمّين للتاريخ الكبير. بالمثل، فإن كتاب جورج ولهلم فريدريك هيجل Georg Wilhelm Friedrich Hegel تحت اسم «الموسوعة الفلسفية» Enzyklopadie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse، الذي نُشر أولًا في 1817، قد يتم اعتباره أيضًا سلفًا للتاريخ الكبير. في

هذا العمل البارز، سعى هيجل إلى العثور على قاعدة فلسفية مشتركة لكل الطبيعة بما فيها ما هو بشري[28].

الرائد الثاني في التاريخ الكبير الذي أعرفه كان الناشر والكاتب الاسكتلندي روبرت شامبرز (1802–71) Robert Chambers. ومثله مثل ألكسندر فون هامبولدت، كان شامبرز خبيرًا بالعلم المعاصر، بما في ذلك، بالطبع، الاستنارة الأسكتلندية. عاش في مجتمع يميل إلى المخاطرة، ويتم تحويله إلى مجتمع صناعي بشكل متسارع. ونتيجة ظهور مطابع البخار، أصبحت أعمال النشر أكثر ربحًا، وكانت السبب وراء مكاسب شامبرز المالية. وتم نشر كتابه «آثار التاريخ الطبيعي للخلق» باسم مجهول في لندن بواسطة جون شيرشيل John Churchill في 1844. وبعكس معالجة فون هامبولدت لتاريخ الكون في «الكون»، والذي كان في أغلبه تصنيفيًا، قدم «الآثار» لشامبرز تاريخًا ديناميكيًا لكل شيء، حيث يبدأ بأصل الكون على هيئة سديم من نار، وينتهي بتاريخ البشرية. هذه المقاربة الديناميكية لكل التاريخ ربما كانت المساهمة الرئيسية لشامبرز. ومن وجهة نظري، يتألف هذا الكتاب من عدد كبير من الفرضيات التي تثير التحدي، ولا يزال بعضها حديثًا بشكل يثير الدهشة. ويتضمن ذلك أفكار أن ظهور المادة حدث في سديم من نار، وأن الحضارات ظهرت نتيجة لقيود بيئية واجتماعية. لكن شامبرز كان، بالطبع، رجل عصره وكانت لديه أفكار أخرى، مثل نظرية عنصرية حول تطور البشر، والتي تبدأ بأدنى مرحلة بالهمجيِّين السود بينما يوجد القوقازيون البيض على قمة التاريخ[29].

تبعًا للمؤرِّخ البريطاني جيمس سيكورد James Secord، الذي كتب دراسة منيرة عن «الآثار» وتأثيراتها على المجتمع المعاصر، تم تحفيز شامبرز على كتابة هذا الكتاب، من بين أشياء أخرى، الترويج لمسار متوسط بين الراديكالية السياسية التي سببتها الثورة الفرنسية والمسيحية الإنجيلية[30]. ليس من الواضح مدى تأثير أعمال فون هامبولدت على شامبرز. ففي إنجلترا ظهرت «آثار» شامبرز و«كون» هامبولدت مطبوعة في الوقت نفسه تقريبًا، بينما كان هامبولدت يحاضر بالفعل عن هذه الأمور منذ نحو 20 عامًا. أيًا كان الوضع، سبَّب «الآثار» إثارة هائلة في بريطانيا الفكتورية وشهد بالتالي مبيعات جيدة. وتبعًا لأعمال ليل وفون هامبولدت، يقدم «الآثار» مدى زمني لتاريخ الأرض والحياة أطول بكثير من الحكاية التوراتية المسموح بها. ومن ثم، أسهم «الآثار» إلى

حد كبير في تمهيد الأرض للأعمال اللاحقة لتشارلز داروين وألفريد راسل والاس Alfred Russel Wallace حول تطور الحياة[31]. وفقط في العام 1884 ظهرت هوية الكاتب، بعد وفاته.

لم تصدر، حسب معلوماتي، أية دراسة جديدة من نوع التاريخ الكبير، خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر. كان العالم الأكاديمي مشغولًا بالانقسام إلى أفرع علمية مميزة بشكل واضح، بينما كان المؤرِّخون غير متنبّهين لأية محاولات لوضع البشر في سياق أرضي أو كوني أوسع، مركِّزين، كما كان حالهم، على بناء تاريخ وطني ومسارات حضارية. ونتيجة لذلك، لم يكن هناك مجال لتاريخ كبير في المجتمع الأكاديمي. لكن ظل هناك مكان محتمل لحكايات على نطاق واسع بين أسوار العلم. وتبنّى علماء الطبيعة في القرن التاسع عشر بشكل متزايد مقاربات تاريخية، بينما كانت الحكاية التوراتية تفقد مصداقيتها في المجتمع الأكاديمي باعتبارها مصدرًا تاريخيًا واقعيًا. لذلك، قد يتساءل المرء حول سبب عدم ظهور متخصصين يهتمون بإنتاج أي تاريخ كبير خلال هذه الفترة. قد يعود ذلك إلى المشاعر القوية للوطنية الناتجة عن تطور الدول القومية التي أعاقت مثل هذه المحاولات. لكن ربما أنه تم نشر عددٍ قليلٍ من دراسات التاريخ الكبير بالفعل خلال هذه الفترة وتحتاج فقط لأن يتم اكتشافها.

أيًا كان الوضع، يمكن القول بأن التاريخ الكبير قد عاد إلى الظهور في القرن العشرين. كان الرائد الأول هو الكاتب الإنجليزي ه. ج. ولز بكتابه «مخطط التاريخ» 1920. قد يكون ما حثَّ ولز على كتابة «تاريخ كامل الشمول» هو تأثيرات الحرب العالمية الأولى، والتي اعتبرها الكثيرون مثيرة للرعب. كان أمل ولز بأنه إذا فعل ذلك، سيساعد في رعاية هوية عالمية، قد تسهم في منع المزيد من الحروب الكبيرة[32]. ولأن أغلب المتخصصين كانوا لا يزالون يعتبرون الكون مستقرًا ولا محدودًا، ركّز ولز جهوده على تاريخ الأرض، والحياة والجنس البشري mankind (كما أطلق عليه).

استغرق الأمر حتى السبعينات لكي يتم إنتاج أنواع جديدة من التاريخ الكبير. ولا أعرف لماذا استغرق الأمر كل هذا الوقت الطويل. ربما كانت نصوص التاريخ الكبير لأوائل القرن العشرين موجودة ويحتاج الأمر فقط إلى العثور عليها[33]. مع السبعينات، أدت تأثيرات رحلات أبولو إلى القمر مع العولمة والتصنيع المتناميَيْن إلى تحفيز فكرة النظر إلى الأمور في مجملها. وأول حكاية تاريخ كبير أعرفها هي المجلد الكبير الذي

حمل اسم «تاريخ كولومبيا عن العالم» 1972. كان هذا الكتاب نتيجة جهد فريق من المتخصِّصين تم تكريسه للفترة ما بين ظهور الكون حتى ظهور الزراعة.

لعلها مصادفة -رغم أني لا أرى الأمر كذلك- لكن بعد قليل جدًا من رحلات أبولو أصبح أغلب النماذج الإرشادية العلمية الرئيسية الراهنة (بمفهوم توماس كون Thomas Kuhn) عن تاريخ الكون، وعن المجموعة الشمسية والأرض، مقبولين في العلم السائد[34]. وتزامن ذلك مع ظهور تقنيات جديدة لتحديد أعمار الصخور بمساعدة التحلّل الإشعاعي. ويضاف إلى ذلك، أنه تم اكتشاف طرق جديدة، أو تم تطويرها، لتحديد عمر الأشياء والأحداث الأخرى، مثل حساب حلقات الأشجار، والتأريخ الوراثي ورصد الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي صدر عن الكون المبكر. وأدّى كل ذلك إلى ما أطلق عليه دافيد كريستيان «ثورة كرونومترية»[35]. نتيجة لذلك، استطاع العلماء تقديم حكايات أكثر دقة عن تاريخ الحياة، والأرض، والمجموعة الشمسية بل وحتى عن الكون.

خلال الثمانينات، استخدمت قلّة من المتخصصين الأمريكيين ذوي البصيرة، مثل عالِم الجيولوجيا برستون كلاود Preston Cloud من جامعة مينيسوتا، وعالم الفيزياء الفلكية ج. سجفريد كاتر G. Siegfried Kutter في جامعة إيفرجين ستيت في ولاية واشنطن وعالمي الفلك جورج فيلد George Field وإريك شايسون في جامعة هارفارد، هذه التقنية الجديدة في تقديم توليفات رائعة جديدة. وتضمّن ذلك منهاج جامعة وكتبًا تتعامل مع تاريخ لكل شيء يقوم على العلم، مع التأكيد على تخصّصاتهم الخاصة. ولكونهم علماء طبيعة، قدموا اهتمامًا محدودًا فقط بالتاريخ البشري. وبالتالي، على المقياس الكبير، بدأت هذه الحكايات عن التاريخ في الاندماج في نوع جديد، عُرف بشكل متزايد بأنه «تاريخ كبير» بين المؤرِّخين في أستراليا، وأوربا الغربية والولايات المتحدة، وباعتباره «تطورًا كونيًا» بين علماء الفلك والفيزياء الفلكية، وباعتباره «تاريخًا شاملًا» في روسيا.

كان الفيلسوف النمساوي إريك جانتش Erich Jantsch أول من طوَّر نموذجًا منهاجيًا للتاريخ الكبير في «الكون ذو التنظيم الذاتي» 1980، حيث لخَّص الكثير من المبادئ المهمة. لكن بعد وقت قصير من نشره توفى جانتش، وقد يفسر ذلك جزئيًا سبب أن الكتاب لم يصبح معروفًا بشكل أفضل بين الأكاديميين. من الجدير بالانتباه،

أن أعمال جانتش في روسيا تم اعتبارها مصدر إلهام لعدد من المتخصصين، بمن فيهم عالم النفس آكوب نازارتيان Akop Nazaretyan، في صياغة مقارباتهم الخاصة للتاريخ الشامل. لسوء الحظ، نشر هؤلاء المتخصصون أغلب أعمالهم في روسيا، وهو ما لم يجعل عولمة تبصّراتهم أمرًا سهلًا. وأيضًا في بلاد أخرى، مثل فرنسا، وإنجلترا، وكولمبيا وبيرو، بدأ متخصصون مهتمون على نطاق واسع، وموهوبون فكريًا، كتابة أنواع من التاريخ الكبير. والآن، لعله من الممكن وجود أشخاص مثل هؤلاء في كل بلد على الأرض تقريبًا[36]. ورغم أن وليام ماكنيل لم يعلم أبدًا ولم يبحث في التاريخ الكبير بنفسه، فإنه جادل لصالح هذه المقاربة، بالإضافة إلى تدعيمه لها بنشاط، بداية من العام 1991 على الأقل[37].

مع نهاية الثمانينات، كان هناك بين المؤرِّخين الأكاديميين رائدان على الأقل بدآ تدريس التاريخ الكبير: دافيد كريستيان في جامعة ماكواري، في سيدني في أستراليا، والمؤرِّخ الأمريكي جون ميرس John Mears في جامعة ساوثرن ميثوديست في دالاس، في تكساس. بينما استأنف جون ميرس المهمة الجبارة في تصميم منهج تاريخ كبير كان يعلّمه كله بنفسه، وابتكر دافيد كريستيان نموذج منهج شمل المتخصصين. علّم علماء الفلك تاريخ الكون، وفسّر علماء الجيولوجيا تاريخ الأرض، وحاضَر علماء البيولوجيا عن الحياة والتطور، بينما اهتم علماء الآثار والمؤرِّخون بالتاريخ البشري. ولم يقدم نموذج المنهج هذا توافقًا مدهشًا فقط بين المدرسين، لكنه قدم أيضًا مثالًا لمناهج مماثلة في أستراليا، والولايات المتحدة وهولندا[38].

هل هي نظرية تاريخية لكل شيء؟

أدّت جهودي لتنظيم مناهج التاريخ الكبير إلى النظرية التاريخية عن كل شيء التي سيتم تقديمها في الفصل التالي. لا تتضمن هذه النظرية زعمًا يستطيع تفسير تفاصيل كل شيء حدث في أي وقت في التاريخ. ورغم ذلك بالتفكير في ما هو كبير، من الممكن إدراك الأنماط العامة التي تظل غامضة لو كان علينا أن نفحص فقط أجزاءً أصغر في ماضينا. لعله ليس على القارئ، عند هذه النقطة، أن يهتم بالتنقيب في مناقشة نظرية من دون أن يرى بعضًا من لحم التاريخ في عظامه النظرية. لو حدث ذلك، قد يكون من الأفضل له أن يقفز على الفصل الثاني ويواصل قراءة الفصل الثالث. وبمجرد أن تظهر حاجة إلى توضيح نظري، قد يعود القارئ إلى الفصل الثاني.

أيًا كان ما يقرر أن يفعله القارئ، قد يكون من المفيد توضيح أن مقاربتي النظرية يمكن إدراكها بالطريقة التي فسَّرْتها سابقًا لظهور التاريخ الكبير في بداية القرن التاسع عشر. وقد لا يكون ممكنًا، على سبيل المثال، التنبؤ بكل شيء أو تفسيره كما فعل ألكسندر فون هامبولدت. ورغم ذلك يمكننا التعلُّق ببعض الأمل في إمكانية تفسير ظهور واندثار الظروف الاجتماعية والبيئية، مع كل فرصها وحدودها، والذي من خلاله حصل أفراد مثل فون هامبولدت على فرصة لفعل ما فعلوه. وهذا يتضمن، بالطبع، كمية كبيرة من الإدراك المتأخر بعد انتهاء الأحداث.

قد يرى علماء الطبيعة أنه، بعكس دراسة المجتمعات البشرية، يمكنهم التنبؤ بدقة كبيرة بالكثير جدًا من الظواهر، مثل مدار الأرض حول الشمس (وهو غير منتظم تمامًا). قد تكون إجابتي أن هذه تكون الحالة فقط لأن تلك نظم بسيطة، حيث تحدث الأنماط بشكل منتظم. قد يتساءل المرء عمَّا إذا كان علماء الطبيعة قد يستطيعون أيضًا التنبؤ بدقة مماثلة بحدث سوبرنوفا محتمل قد يقضي على وجود مجموعتنا الشمسية خلال مليارات السنوات، أو أي تصادمات محتملة بالأرض بواسطة نيازك لا يمكن حتى الآن قياس مساراتها. يبدو لي أنه في مثل هذه الحالات يمكن لعلماء الطبيعة الاعتماد على المقاربة نفسها بالضبط مثل تلك التي يتم الدفاع عنها هنا.

إدراك طبيعة الحادثة بعد وقوعها قوة وضعف. وهو مفيد، لأنه يسمح لنا بالحصول على وجهة نظر شاملة لعمليات طويلة وقصيرة المدى. ورغم ذلك قد يقودنا الإدراك المتأخِّر أيضًا إلى فخ الجدال الدائري بافتراض أن الأمور تحدث بطريقة معينة لأن الظروف كانت صحيحة، بينما نقوم بتعريف أي الظروف هي التي كانت صحيحة، لأنه في مثل هذه اللحظات حدثت أمور خاصة. في الفصول القادمة، سوف نحاول تجنُّب هذا الفخ عندما نقوم باستخدام الفوائد التي يقدمها إدراك طبيعة الحادثة بعد وقوعها. ومهما كان الوضع، لا يمكن تجنّب نقطة الأفضلية للإدراك المتأخِّر بأي نوع من إعادة البناء التاريخية. ودعنا لا ننسى أن الإدراك المتأخِّر هو أيضًا جزء لا يتجزَّأ من حاضرنا المحيّر، ومن المرجَّح، بالتالي، أن يتغير مع الزمن.

الفصل الثاني
نهْجٌ عام

إن موضوع هذه الملاحظة التمهيدية ليس فقط جذب الانتباه إلى أهمية وعَظَمة التاريخ الفيزيائي للكون، لأن هذا مفهوم بشكل جيد الآن، بحيث لا يمكن الجدال فيه، لكن أيضًا لإثبات أنه قد يكون في استطاعتنا، من دون الإساءة إلى توازن الدراسات الخاصة، تعميم أفكارنا بتركيزها في بؤرة واحدة مشتركة، وبذلك نصل إلى وجهة نظر يمكن أن نرى من خلالها كل الكائنات الحية وقوى الطبيعة باعتبارها نشاطًا حيًا في مجمله، تحركها قوة دافعة واحدة فقط... ومن ثم، لا يجب أن يختلط التاريخ الفيزيائي للكون بـ «موسوعات العلم الطبيعي»، كما تم جمْعها حتى الآن، وعنوانها بغموض ومحدودية سوء التعريف. في العمل الذي نقدمه، سيتم تقدير الحقائق الجزئية فقط في علاقتها بالحقائق في مجملها.

(ألكسندر فون هامبولدت في «الكون» 1845، صفحة 55).

مقدمة

تبعًا للمقاربة المعروضة سابقًا بواسطة العالم الألماني المرموق منذ أكثر من 150 عامًا، يتم في هذا الفصل اقتراح مخطط تفسيريّ عام للتاريخ الكبير. وأي زعم بتفسير كل التاريخ سيبدو حتمًا بالغ الغطرسة. لذلك سأكون واضحًا في ما يخص أهدافي ومزاعمي. أولًا، يتضمن تفسير الماضي دائمًا إقامة توازن بين المصادفة والضرورة. تم

التعبير عن وجهة النظر هذه بواسطة الفيلسوف الطبيعي في اليونان القديمة ديمقريطس Democritus (460–370 BC)، بينما قال عالِم الكيمياء العضوية الفرنسي جاك مونود Jacques Monod الشيء نفسه من الناحية الأساسية في وقت أكثر حداثة (مع إسناد صحيح لديمقريطس)[1]. مخططي التفسيري يدور حول الضرورة. ويتكوّن من النزعات العامة التي لم تجعل فقط مواقف معينة ممكنة ولكنه قيّدها أيضًا. ورغم ذلك هناك في هذه الحدود متّسع للمصادفة. ورغم أنني لن أركّز بشكل منظّم على المصادفة في هذا الكتاب، على القارئ أن يضع في حسبانه أن تأثيرات المصادفة تؤثّر على مسار التاريخ.

كل ما لا يمكن تفسيره بشكل كاف يتم النظر إليه عادة على أنه نتيجة للمصادفة. تصنّف هذه المقاربة الفرصة في صنف البقايا بشكل غير مقبول بالأحرى. ومع ذلك، قد يتساءل المرء عمّا إذا كانت المصادفة الخالصة توجد بالفعل. بينما يزعم علماء الفيزياء أن المصادفة الإحصائية تحكم الطبيعة، وبشكل أكثر تميّزًا في ميكانيكا الكم، لا توجد المصادفة الخالصة من وجهة نظري في الواقع، لأن كل شيء يتأثّر بكل شيء آخر إما بشكل مباشر أو غير مباشر[3]. بعبارة أخرى، بمجرّد ظهور الانتظام، كان هذا نهاية للمصادفة الخالصة غير المخفّفة. ورغم ذلك فإنه في هذه الانتظامات المنبثقة، تحدث كمية كبيرة من ظواهر المصادفة، بمعنى الأحداث بالغة الفوضى بحيث لا يمكن اعتبارها نتيجة مباشرة لهذه الانتظامات. من وجهة نظر التاريخ الكبير، قد يمكن القول، إن الزيادة في التعقد بمرور الزمن قد تؤدي إلى زيادة مناظرة لأحداث المصادفة الخالصة. لو كان هذا صحيحًا، قد يكون ذلك نزعة رئيسية في التاريخ الكبير.

حتى رغم وقوع الكثير جدًا من الأحداث في التاريخ الكبير حيث لعبت المصادفة دورًا، فإن عددًا كبيرًا من الانتظامات والنزعات الواضحة يمكن إدراكها. من الواضح أن ظواهر المصادفة هذه أنتجت معًا أنماطًا منظمة لكثير من الأنواع المختلفة. على سبيل المثال، إن تصادمات كل الجزيئات في محيط ما تعتبر ظاهرة تقوم على المصادفة. ورغم ذلك فإن مثل هذا المحيط تبرز عنه أنماط واضحة، بما في ذلك التيارات، والموجات والدرجات المتنوّعة من الملوحة. بينما يتم التعرف على ظواهر المصادفة، فإن هدفي الأول هو تفسير هذه الخواص المنبثقة الأكبر.

بينما تعتبر أغلب العمليات بالغة التعقد في تفاصيلها، فإن بنيتها الكلية قد تبدو أحيانًا بسيطة إلى حد يثير الدهشة، إذا تم النظر إليها بمساعدة مقاربة من أعلى إلى أسفل (كما

تم تقديمه بمثال في صورة بزوغ الأرض). بالبدء من بداية التاريخ، الانفجار الكبير، يكون التحليل بالضرورة من أعلى إلى أسفل. بالتركيز بعد ذلك على مجرَّتنا، وعندئذ على مجموعتنا الشمسية وأخيرًا على وطننا الكوكب، من السهل نسبيًا إدراك الأنماط العامة التي كان من الصعب جدًا تمييزها لو كنا قد اتبعنا مقاربة من أسفل إلى أعلى، أي بالبدء بمجتمعاتنا المعاصرة ثم توسيع المشهد. ويمكن لهذه المقاربة أن تصبح مهيمنة على الفور. ولأن التفاصيل معقدة بالفعل، فإن التوسُّع في المشهد فقط يؤدي إلى المزيد من التعقيدات، ما يجعل منه طريقة صعبة جدًا، وحتى العقول المتخصّصة يصعب عليها التعامل معها. ورغم ذلك فإن البدء بالتحليل عند مستوى مرتفع، يسهِّل نسبيًا رؤية الأنماط العامة التي قد لا تكون موضع انتباه لو أن المرء كان يتبع مقاربة من أسفل إلى أعلى.

لا تعني هذه الأفكار أنني أظن بأن المقاربات من أسفل إلى أعلى غير مهمة. بالفعل، لو كان المرء يرغب في رسم صورة جديرة بالثقة إلى حد معقول لما هي عليه التطورات عند مستوى محلي أو إقليمي، من الضروري الانغماس في تفاصيل كثيرة هائلة، كما اكتشفت أنا نفسي، بينما كنت أنجز بحثًا في الدين والسياسية في قرية أنديزية بيروفية في زاريت Zurite. لكن لو كان المرء يرغب في فهْم كيف كانت هذه الأحداث مطمورة في عمليات أكبر، لكان التوافق مع مقاربة من أعلى إلى أسفل ضروريًا.

ولأن مخطَّطي التفسيري يتعامل مع كل شيء من أصغر الجسيمات إلى الكون في مجمله، فإنه يحتاج إلى صياغته بكلمات عامة جدًا. يجب أن يتضمن تلك الجوانب العامة للطبيعة التي تشترك فيها المجرات، والمجموعات الشمسية، والمجتمعات البشرية، والبكتيريا، والجزيئات وحتى أدق الجسيمات. وكما سيتضح، فإن هذا يتضمن كلمات مثل «المادة»، و«الطاقة»، و«الإنتروبيا» (الفوضى) و«التعقد».

قبل أن نستطيع تفسير التاريخ، نحتاج إلى ملاحظة تلك الانتظامات الرئيسية التي نريد تفسيرها. ويطرح ذلك السؤال العميق حول ما إذا كانت مثل هذه الانتظامات يمكن رصدها على أي حال. بينما يتكوَّن الكثير من الحكايات التقليدية عن التاريخ البشري من حوادث رئيسية توجد في إطار التسلسل الزمني. أتتبَّع من جهتي مقاربة للتاريخ، حيث العمليات المهمة تلعب دورًا أساسيًا. وهذا يتضمّن الثورة الزراعية، وتشكّل الدولة، والعولمة والتصنيع. داخل هذه العمليات الأكبر، يمكن تمييز الكثير

جدًا من العمليات ذات المقياس الأصغر، مثل تأسيس كنيسة الروم الكاثوليك في بيرو المستعمرة (التي درستها بنفسي بتفصيل كبير).

كل الأحداث التي يعتبرها المؤرِّخون مهمة يجب أن تجد لنفسها، بالطبع، مكانًا في هذه العمليات الأكبر. فيمكن تفسير الثورة الصناعية، على سبيل المثال، باعتبارها عملية بدأت أولًا في إنجلترا، وانتشرت الآن في كل العالم القابل للسُّكنى. في مثل هذا الهيكل العام، يمكن أن ندرس بشكل مثمر تصنيع بلاد معينة مثل كوريا الجنوبية. وبينما لم يتبنَّ الكثير من المؤرِّخين حتى الآن مقاربة العملية، فإن كل حكايات علماء الطبيعة عن التاريخ الكبير، من التطور الكوني حتى تاريخ الأرض، تتم صياغتها بهذه الطريقة. ونتيجة لذلك تناسب مقاربة العملية للتاريخ البشري التي يتم الدفاع عنها هنا بشكل جيد جدًا هذا السياق الأكبر.

لو رغبنا في تفسير التاريخ الكبير، علينا جرد العمليات الرئيسية التي حدثت. في كتابي «بنية التاريخ الكبير» 1996، استكشفت هذه الفكرة الرئيسية باقتراح كلمة «نظام regime» كمفهوم مهم عام للإشارة إلى كل العمليات التي يتشكَّل منها التاريخ الكبير. وبمساعدة هذا المفهوم، تتم مناقشة أغلب النظم المهمة، بما في ذلك تفاعلاتها. ووضعت تأكيدًا كبيرًا على التاريخ البشري، لأنه كان الفرع العلمي الوحيد الذي ظل في حاجة إلى نموذج إرشادي أساسي بالمعنى الذي يقصده توماس كون. وتقدم هذه المقاربة بِنية عامة للتاريخ الكبير التي تشبه، في هذا الزمن، خطوة نظرية أساسية إلى الأمام. بعد نحو ست سنوات، اتضح لي أن هذه النُظُم قد تكون مفيدة جدًا ليس فقط لبناء التاريخ الكبير ولكن أيضًا لتفسيره.

في أكتوبر 1996، زرت معهد سانتافي في نيو مكسيكو، الذي كان مخصَّصًا لدراسة ما يطلقون عليه «منظومات التكيّف المعقدة». وكما توضح الكلمة، فإن هذه تعتبر أشكالًا من التعقد يمكنها التكيُّف مع الظروف السائدة. خلال هذه الزيارة، بدأت التساؤل حول المشترك بين هذه النظم ومنظومات التكيف المعقدة. وبدى لي أن كل منظومات التكيُّف المعقَّدة هي نظم من النوع نفسه. ورغم ذلك، بسبب أنه في التاريخ الكبير لا يكون الكثير من النظم متكيفة، بما في ذلك النجوم والمجرات والثقوب السوداء، يمكن النظر إلى منظومات التكيُّف المعقَّدة باعتبارها مجموعة صغيرة من مجموعة كبيرة في كل النظم التي وُجدت في الكون. نتيجة لذلك، هناك نوعان من النظم على الأقل في

التاريخ الكبير، منظومات التكيف المعقدة ومنظومات عدم التكيُّف المعقَّدة. ومن المثير للاهتمام، أن كلمة «نظام» تبدو وكأنها تغطي كل أنواع التعقُّد التي وُجدت في أي وقت.

أفضِّل كلمة «نظام regime» على كلمة «منظومة system» لأنه ليست هناك أنواع من التعقُّد تكون مستقرَّة تمامًا عبر الزمن. وذلك مهم بشكل خاص في العلوم الاجتماعية، حيث تحمل كلمة «منظومة» غالبًا تضمينًا للهوية الساكنة[3]. ولأننا نرغب في ردم الفجوة بين «العلمين» في التاريخ الكبير، علينا بذْل جهد للعثور على كلمات مقبولة بالنسبة لكل قطاعات المجتمع الأكاديمي. في تعبيراتي، إن كلمة «نظام» هي تعبير مختزل لنقل كلٍّ من البنية وتغيّر العمليات. بوضع التنوّع الجدير بالملاحظة للنظم التي نجدها في المنشورات العلمية الحديثة، من النظم السماوية حتى نظم الجسيْمات الأصغر، في الاعتبار، لديَّ أمل في أن كلمة «نظام» قد تصبح بالفعل مقبولة على نطاق أوسع باعتبارها مصطلحًا تحليليًا[4].

أقصر ملخَّص للتاريخ الكبير هو أنه يتعامل مع ظهور واندثار التعقد على كل المقاييس. ونتيجة لذلك، فإن البحث عن تفسيرٍ يتم اختصاره إلى الإجابة عن سؤال حول سبب أن كل هذه الأنواع المختلفة من التعقُّد قد ظهرت وازدهرت، لكي تنقسم أحيانًا من جديد. سوف أبرهن هنا على أن الطاقة المتدفّقة خلال المادة في ظروف حَدّية معينة قد سبَّبت ظهور واندثار كل أنواع التعقد. وحتى الآن، قد يبدو هذا أمرًا مجرَّدًا جدًا، وآمل فقط أن الشرح التالي سوف يجعل هذه الصياغة مفعمة بالحيوية. وقبل استكشاف هذا المفهوم بأية تفاصيل إضافية، سوف نفحص أولًا المعنى العلمي لهذه الكلمات المهمة «المادة»، و«الطاقة» و«التعقد».

المادة والطاقة

من الصعب إلى درجة مدهشة العثور على إجابة مُرْضية للسؤال البسيط عن ماهية المادة والطاقة. يعرّف إريك شايسون، مثلًا، المادة باعتبارها «أي شيء يشغل مكانًا وله كتلة»، بينما يصف الكتلة باعتبارها «مقياسًا للكمية الكلية للمادة matter، أو مادة الشيء stuff، التي يحتوي عليها شيء ما»[5]. من وجهة نظري، تلك حجَّة دائرية. ورغم ذلك لا أجد أي كتاب فيزياء تقليدي يقدم المزيد من الوضوح. من الواضح، أنه من الصعب جدًا تعريف المادة على نحو غير مبهم. وتظهر مشكلة مماثلة عند محاولة تعريف الطاقة[6]. لماذا يكون الأمر كذلك؟

من وجهة نظري، تنتج هذه المشكلة بالدرجة الأولى عن طبيعة تعريف الأشياء. من المحتم، أن أي تعريف يحتوي على وصف مختصر لمفهوم ما بناء على مفاهيم أخرى يتم اعتبارها غير مشكوك فيها. وعندما نفعل ذلك، يتم غالبًا وضع الافتراض الضمني بوجود مفاهيم لا شك فيها. ورغم ذلك فإنه بمجرد البدء في سَبْر هذه المفاهيم التي من المفترض أنها لا تثير الشك، نجد أنها مثيرة للشك أيضًا. المشكلة الثانية هي؛ إنه إذا كنّا نرغب في تعريف مفاهيم تعتبر أساسية، أو رئيسية، مثل المادة والطاقة، لا تكون هناك أبدًا مفاهيم رئيسية أكثر من غيرها متاحة يمكن استخدامها لهذه التعريفات. وهذا يفسّر سبب أن المفاهيم الأساسية ربما لا يمكن أبدًا تعريفها بشكل مُرضٍ.

في المقام الثاني، مثل كل الكلمات العلمية تقريبًا، تم استخدام المادة والطاقة كمفاهيم الحياة اليومية. وعندما بدأ استخدام هذه المفاهيم باعتبارها مصطلحات علمية، تقلّص معناها، أولًا باللغة الخاصة وبعد ذلك بالصيغ الرياضية. رغم أن هذه المقاربة أدت إلى تبصّرات كثيرة مهمة وعميقة، قد يتساءل المرء عمّا إذا كانت هناك حدود لتطبيق المصطلحات المستخرَجة من الخبرة الإنسانية اليومية بكلٍ من الجسيمات الأصغر أو البنى الممكنة الأكبر في الكون. وقد أدى ذلك، على سبيل المثال، إلى بعض الارتباك في ما يخص أسئلة مثل الصفة المزدوجة للضوء باعتباره موجة وجسيمًا (رغم أنه بلا كتلة). قد يتضح أنه في القرن المقبل أيضًا، سوف يصمم العلماء مصطلحات أكثر تحررًا تجعل مصطلحاتنا ونظرياتنا الراهنة تبدو ذات طراز قديم إلى حد ميؤوس منه. ورغم ذلك لا نزال نعيش هنا والآن، وعلينا أن نفعل ذلك بأفضل المصطلحات المتوفرة لدينا الآن.

أول استخدام علمي لكلمة «مادة» يمكن العودة به إلى 400 سنة قبل الميلاد في اليونان القديمة، عندما قدم ديمقريطس من أبديرا نظرية حول أن كل مادة الشيء staff التي يمكننا ملاحظتها تتكون من أشياء بالغة الصغر، ومن ثم يمكن رؤيتها، وهي الذرة atomoi، أجزاء من المادة لا يمكن تقسيمها إلى المزيد. وعادت تلك الأفكار إلى الظهور خلال نهضة العلم الحديث في أوربا.

ولعلَّ أول ظهور لمصطلح «الطاقة» قديم أيضًا. ولعل الفيلسوف اليوناني أرسطو صاغ مصطلح الطاقة energeia نحو عام 350 قبل الميلاد، وهو يجادل بأنه «تتم المحافظة على أي شيء بواسطة الطاقة التي ترتبط بوظيفة الشيء»[7]. والاستخدام

العلمي الأكثر حداثة لمصطلح «الطاقة» يبدو أنه يعود فقط إلى بداية القرن التاسع عشر، وكان ذلك هو زمن الثورة الصناعية، التي قادتها المحرَّكات البخارية. ولأنه تم استخدام هذه الآلات بواسطة المشروعات التجارية لجني الأرباح، كانت هناك مكافأة لأي ابتكار قد يحسِّن من فاعليتها. وبمرور الزمن، أدى ذلك إلى فرع جديد في العلم، المعروف حاليًا بالديناميكا الحرارية، حيث بدأت مصطلحات مثل «الطاقة» و«الإنتروبيا» (الفوضى) تتشكل بشكل بارز. خلال الفترة الزمنية نفسها، بحث العلماء أيضًا كلًا من نطاق الجسيمات بالغة الصغر والبنى الأكبر المنظورة في السماء. وبعد وقت قصير أدركت قلة من العلماء البارزين، مثل اللورد كلفن Lord Kelvin ولودفج بولتزمان Ludwig Boltzman، أن المفاهيم الجديدة في الديناميكا الحرارية يمكن تطبيقها على الكون في مجمله. ورغم ذلك فإن التطبيق الكامل الزاهي للديناميكا الحرارية على المادة الحية ظهر فقط في السبعينات.

دعنا نعود الآن إلى السؤال عن كيفية تعريف «المادة» و«الطاقة». تبعًا لحقيقة أن فهْمنا العلمي للمادة والطاقة تطور من مفاهيم الحياة اليومية، وتبعًا للقضايا المرتبطة بهذه الأمور، أقترح معالجة تعريف المادة والطاقة بالطريقة التالية: هنا، يتم تعريف «المادة» باعتبارها أي شيء يمكننا نحن البشر من الناحية الأساسية لمْسه، هذا مفهوم في الحياة اليومية يكون له بعض المعنى بما يبعث على الأمل. ويتضمن اللمس أيضًا قياسات علمية. على سبيل المثال، نقيس عادة الكتلة بمساعدة كتل أخرى، غالبًا بنوع ما من المقاييس. بالطبع نحن عاجزون عن لمْس أي مادة بعيدة عن متناولنا، بما في ذلك أغلب المادة الموجودة في الكون. وفي حال وجود المادة بعيدة جدًا عنا يُستدل عليها بواسطة الضوء الذي بثته أو بواسطة تأثيرات الجاذبية على أنواع من المادة تبث ضوءًا.

في التاريخ الكبير، يلعب الضوء دوْرًا رئيسيًا. الضوء الذي نلاحظه بأعيننا هو، في الحقيقة، مجرد أجزاء صغيرة من النطاق الواسع لأطوال الموْجات التي يطلق عليها العلماء «الإشعاع الكهرومغناطيسي». وفي هذا الكتاب، سيتم استخدام الكلمة المختَصرة «ضوء» غالبًا باعتبارها تشير إلى الإشعاع الكهرومغناطيسي. وتبعًا لعلماء الطبيعة، يمكن وصْف الضوء باعتباره موجات ذات صفة تشبه الجسيم، وفي هذه الحالة تكون الجسيمات من دون كتلة (مهما كان ما يعنيه ذلك). ولأن الضوء من المتوقَّع ألا تكون له كتلة، لن يتم اعتباره مادة. ورغم ذلك فإنه من الواضح أن تأثيراته

على المادة، مثلًا على عيوننا أو أي نوع آخر من الكشَّافات، غير مرئية. يمكننا فقط قياس الضوء من خلال تفاعلاته مع المادة ومن خلال تفاعلاتنا بالتالي مع هذه المادة. لو أنه لا توجد أية مادة بالمرة في الكون، لكان من المستحيل رصد أي ضوء. وبفضل تأثيرات الضوء على المادة، يمكننا الاستدلال على كتل وتكوينات بعيدة جدًا، مثل الكواكب، والنجوم وحتى المجرَّات الكاملة. ونفعل ذلك بقياس الضوء الذي انبعث من هذه التكوينات والذي يصطدم بالكشافات الموضوعة في تلسكوباتنا. ويتم تفسير الصور الناتجة تبعًا لنظرية علمية راسخة. بهذه الطريقة، قام العلماء بتقدير كتل أجرام بعيدة جدًا عن متناولنا مباشرة.

ونعتبر الضوء في تفكيرنا العلمي الراهن نوعًا من الطاقة. وهناك أنواع أخرى كثيرة من الطاقة، بما في ذلك الطاقة الحركية وطاقة الربط النووية، وكلها تشترك في أنه يمكننا رصدها نتيجة لتأثيراتها على المادة. وتأثير الضوء على الكشاف هو حالة مماثلة، بينما التصادم بين سيارتين تتحركان -كتلتان من المادة تحوّلان في تصادمهما العنيف الطاقة الحركية إلى تغيير للمادة- مثال آخر للعملية نفسها. والفحص الأقرب لتأثيرات الطاقة على المادة قاد المتخصصين إلى تبصّر عميق بأن الطاقة – والطاقة وحدها – هي التي يمكنها تغيير المادة. ومن المقبول، من ثم، تعريف «الطاقة» باعتبارها أي شيء يمكنه تغيير المادة، إما بنية المادة أو حركتها، بما في ذلك جعلها أكثر، أو أقل، تعقيدًا.

التعقُّد

كما أشرنا من قبل، يتعامل التاريخ الكبير مع ظهور واندثار التعقد. في البداية، لم يكن هناك أي تعقُّد بالمرة. وكلما كان الكون يتطوَّر، كلما زاد على نحو كبير تعقد بعض المناطق فيه، والمجرات على الخصوص. ورغم ذلك، بعد بداية عاصفة بالأحرى، أصبح أغلب الكون، في الواقع، فارغًا بالأحرى ومن ثم غير معقَّد بالمرة. والآن، بعد نحو 14 مليار سنة من وجود الكون، من المثير للجدل أن الجنس البشري هو الكائن الحي الأكثر تعقدًا من الناحية البيولوجية في الكون المعروف.

لسوء الحظ، لا يبدو أن هناك تعريفًا مقبولًا بشكل عام لـ «التعقد»[8]. ونتيجة لذلك ليست هناك طريقة راسخة لتحديد المستويات المختلفة للتعقد. ورغم ذلك من المعقول اعتبار هيئات معينة للمادة أكثر تعقدًا من غيرها. من الذي لديه الرغبة، مثلًا، في البرهنة على أن البكتيريا أكثر تعقدًا من الكائن البشري، أو أن البروتون أكثر تعقدًا

من نواة اليورانيوم؟ يُقال غالبًا بأن أية منظومة (قد أفضِّل «النظام») أكثر تعقدًا عندما يكون الإجمالي أكثر من مجموع الأجزاء[9]. تمت صياغة هذه الفكرة في تسعينات القرن التاسع عشر بواسطة مؤسِّسي علم نفس الجشتالت[*] الألمان، كريستيان فون إهرنفيلس Christianvon Ehrenfels وماكس فيرثيمر Max Wertheimer. في دراسات التعقد الحديثة، يتم التعبير عن هذا الاختلاف بمصطلحات الخواص المنبثقة: صفات مستوى معين من التعقد لا يمكن استنتاجه من مستوى أدنى. الحياة، مثلًا، هي هذه الصفة، التي لا يمكن استنتاجها من الجزيئات التي تتكون منها أي هوية حية. ووصف الأب المؤسس لعلم الاجتماع، الفرنسي أوغست كومت August Comte، وعلى منواله، عالم الاجتماع الألماني نوربيرت إلياس Norbert Elias هذه الخواص بمصطلحات الاستقلال النسبي: المستويات المختلفة من التعقد التي لا يمكن تقليصها إلى مستويات أدنى[10].

ولأنه لا يبدو أن هناك تعريفًا مقبولًا بشكل عام لـ «التعقُّد»، قررت معالجة هذه المشكلة بتقديم قائمة جرد لصفاتها الرئيسية. أولًا، هناك عدد لبنات البناء المتاحة. وكلما ازدادت لبنات البناء، يمكن للبنى أن تصبح أكثر تعقدًا. والشيء نفسه عندما تزداد تشكيلة من لبنات البناء. من الواضح أنه مع تشكيلة أكبر من لبنات البناء، يمكن بناء بنى أكثر تعقّدًا. ويمكن أن يزداد أيضًا مستوى التعقد عندما تصبح العلاقات والتفاعلات الأخرى بين لبنات البناء أكثر تعددًا وأكثر تغيرًا. ومن ثم، يبدو أنه في مجمل الأمر يكون النظام أكثر تعقدًا عندما يكون هناك المزيد والمزيد من العلاقات والتفاعلات المتغيرة بين أعداد متزايدة من لبنات بناء أكثر تغيرًا.

عند مستويات مختلفة من التعقد، يمكن ملاحظة أنواع مختلفة من لبنات البناء. لبنات البناء الأساسية للمادة العادية هي البروتونات، والنيوترونات والإلكترونات، ويمكن الجمع بين هذه الجسيمات الأولية لتشكيل عناصر كيميائية، والتي تعتبر لبنات بناء لمستوى أعلى من التعقد. كما يمكن الجمع بين العناصر الكيميائية، بدورها، لتشكيل الجزيئات، التي يمكن اعتبارها لبنات بناء في مستوى أعلى فوق ذلك من التعقد. وقد تشكِّل معًا النجوم، والكواكب والثقوب السوداء، والتي تعتبر لبنات بناء

(*) نظرية في علم النفس تنادي بدراسة السلوك ككل، لا كأجزاء منفصلة. ويرى واضعو النظرية أن النظرة الكلية للسلوك تؤدي إلى نتائج مختلفة تماما عن دراسة الأجزاء منفصلة.

للمجرات والتي، بدورها، قد تكون لبنات بناء تجمعات مجرَّات. وقد تتجمَّع العناصر الكيميائية أيضًا لتكوين جزيئات قد تتجمع معًا لتشكيل خلايا، والتي قد تتجمع لتكوين أفراد، قد يصبحون، بدورهم، لبنات بناء مجتمع. كل هذه المستويات المختلفة من التعقد يمكن اعتبارها مستقلة نسبيًا بالنسبة لبعضها بعضًا، وهو ما يعني ببساطة أن هذا المستوى الخاص من التعقد يوضح صفات تنبثق ولا يمكن تفسيرها بشكل مُرضٍ من خواص المستوى الأدنى من التعقد.

ثانيًا، هناك جانب آخر مهم للتعقد، وهو ما يطلق عليه الترتيب. تتكون المعلومات الرقمية للحاسب، على سبيل المثال، من لبنتي بناء أوليتين فقط، وهما الآحاد والأصفار. ورغم ذلك فباستخدام كميات هائلة من الآحاد والأصفار بترتيبات معينة، استطاع البشر توليد الكثير من التعقد. من الواضح، أن الترتيبات التي تكون فيها لبنات البناء هذه منظمة يمكن أن تنتج عنها مستويات مهمة من التعقد، بينما يمكن فقط لتغير طفيف من الترتيب أن يدمر هذا التعقد تمامًا. يكون ترتيب لبنات البناء، والمعلومات بالتالي، مهمين في الغالب في الحياة والثقافة. في الحياة، تكون المعلومات الوراثية منظَّمة في جدائل طويلة على جزيئات الدنا DNA، حيث يعتبر ترتيب لبنات البناء ذا أهمية قصوى لتحديد ما يحدث داخل الخلايا. بطريقة مماثلة، يعتبر الترتيب مهمًا أيضًا لكل المعلومات والاتصالات الثقافية.

قد يقول المرء بأن الطبيعة غير الحية قد تُظهر ترتيبات معينة، وبذلك تحمل معلومات. قد تتكوَّن الرواسب، مثلًا، من الكثير جدًا من الطبقات، كل منها يحتوي على أحفوريات أنواع مختلفة كثيرة، ويتم تفسيرها بواسطة العلماء باعتبارها تقريبًا مفاتيح ألغاز ماضٍ سحيق. ورغم ذلك هناك اختلاف مهم بين مثل هذه الأشياء والمعلومات الوراثية أو الثقافية. لا تقوم الرواسب والأحفوريات بأية وظائف للنظام في مجمله - إنها موجودة فحسب. المعلومات المخزَّنة في الجزيئات الوراثية وفي المستودعات الثقافية مثل الكتب ومحركات أقراص الحاسب، يمكن، على العكس، تفسيرها دائمًا باعتبار أن لها بعض الوظائف بالنسبة للأفراد الذين يمتلكونها.

عند مقارنة الأنواع المختلفة من التعقُّد، يجب أن نأخذ في اعتبارنا تعقدها لكل وحدة كتلة (كيلوجرام). وإلا سيتم اعتبار قطعة من الصخر تزن بضعة كيلوجرامات، فقط بحجمها الصِّرف، وبالتالي العدد الكبير للبنات بنائها الذرية، أكثر تعقدًا بكثير من كائن حي مجهري بالغ الصغر. ورغم ذلك بمجرد أن نقارن بين الصخور والكائنات

الحية المجهرية لكل وحدة كتلة، يبدو فجأة أن هذا الكائن الحي الصغير أكثر تعقدًا بكثير، وهذا بفضل تشكيلاته الأكبر من لبنات البناء والارتباطات.

ويجب أن تتيح لنا مقاربة تعريف التعقد بمصطلحات لبنات البناء والارتباطات والترتيبات أن نحدد من حيث المبدأ إلى أي حد يكون الإجمالي أكبر من مجموع الأجزاء. ورغم ذلك يكون هذا بالغ الصعوبة في الممارسة. فكيف يمكننا تقييم الجوانب المختلفة، وأية معادلات علينا استخدامها؟ وما الذي يعتبر أكثر من غيره: تشكيلة أكبر من لبنات البناء، أو ارتباطات أكثر فأكثر تغيرًا، أو ربما ترتيبًا أطول وأكثر تغيرًا؟ حتى الآن، أرى أنه من المستحيل تقييم كل هذه الجوانب بطريقة يمكن أن تسمح لنا بحساب مستويات التعقد بمصداقية. لو أن هذا ممكن على أي حال، فإن إنجاز مثل هذا الهدف حتى من حيث مقاربة من الطراز الأول، يمكن أن تؤلِّف أجندة أبحاث كاملة. وحتى لو استطعنا إنجاز ذلك، هل يؤدي هذا إلى تصنيف دقيق بما يكفي للخواص المنبثقة لهذا المستوى الخاص من التعقد؟ نتيجة لذلك، بالنسبة للوقت الراهن، علينا الاعتماد على إفادات كمية، وذاتية بالأحرى، عن كيفية تقييم كل مستويات التعقُّد هذه في الكون المعروف. قد لا يفي هذا بالغرض، ورغم ذلك فإنه في حدود معرفتي هذه هي أفضل مقاربة متوافرة في الوقت الراهن[11].

لا تعني كلمتا «النسق order» و«التعقد complexity» الشيء نفسه دائمًا. فبلّورة تتكوّن من كلوريد الصوديوم (الملح العادي)، على سبيل المثال، قد تكون بالغة الانتظام والترتيب، لأنها تتكون من أيونات صوديوم متعاقبة مشحونة إيجابيًا وأيونات كلوريد مشحونة سلبيًا موجودة بطريقة منتظمة تمامًا. ورغم ذلك لا يمكن اعتبار هذه البلّورة معقدة تمامًا، لأنه لها فقط بضع لبنات بناء تتفاعل مع بعضها بعضًا بطرق بسيطة جدًا. وأنا أفضِّل الاحتفاظ بمصطلح التعقد الأكبر للكائنات الحية البيولوجية، حيث الكثير جدًا من جزئيات من أنواع مختلفة تتفاعل بطرق كثيرة جدًا. ونتيجة لذلك، يتكون عكس الفوضى من نوعين من الأنساق: من جانب يوجد نوع نسق منتظم جدًا ليس بالضرورة معقدًا جدًا، ومن جانب آخر نوع من النسق يتكوّن من مُرَكّبات مرتبة كثيرة تتفاعل مع بعضها بعضًا.

لا تنبثق أنواع التعقد الأكبر فجأة كلها بنفسها من لا شيء. وبدلًا عن ذلك، فإنها تأتي دائمًا من أنواع من التعقد الأدنى. فالمجتمعات البشرية، مثلًا، تنبثق من جماعات

الرئيسيات، والتي، بدورها، تنشأ من أشكال حياة أقدم، وأقل تعقدًا. هذا مجرد مثال واحد من قاعدة عامة جدًا. مثل هذه العملية تستغرق عادة مدة زمنية طويلة جدًا. ويمكن أن يحدث انهيار التعقّد الأكبر، على العكس، بسرعة كبيرة، بينما قد يرتدّ إلى تعقد منخفض جدًا دون المرور خلال مراحل وسطية كثيرة جدًا. ويحدث ذلك، مثلًا، عندما يكون البشر قد أصبحوا رمادًا بعد الموت.

في كوكبنا الخاص، لا يمكننا خلق أي تعقد جديد من دون تدمير الأنواع الموجودة. وليس لدينا ببساطة مجموعة جديدة من لبنات البناء في متناول يدنا يمكننا استخدامها لإنشاء جديد في الفضاء الحر الخالي. وبدلًا عن ذلك نحن مُحَاطون بأنواع موجودة من التعقّد نعيد تشكيلها. نتيجة لذلك، بينما نخلق أنواعًا جديدة من التعقد، فإننا ندمّر باستمرار أيضًا الأنواع القديمة. ويجب ألا ننسى أن البشر قد شاركوا أيضًا في تدمير أنواع من التعقد دون خلق أنواع جديدة.

دعنا نلقي نظرة الآن على المستويات المختلفة للتعقد التي يمكن ملاحظتها في التاريخ الكبير. تبعًا للكثير من المتخصصين، هناك ثلاثة أنواع رئيسية للتعقد: الطبيعة الفيزيائية غير الحية، والحياة والثقافة. بمصطلحات المادة، الطبيعة غير الحية تعتبر إلى حد بعيد أكبر جزء من كل التعقد الموجود في الكون، وقد تسهم الأمثلة التالية في إدراك أهمية حجمها الصرف. دعنا نفترض بغرض البساطة أن مجمل الأرض يزن نحو وزن سيارة أمريكية متوسّطة، نحو 1000 كيلوجرام. الوزن الإجمالي للحياة الكوكبية قد لا يتجاوز 17 ميكروجرام. وهذا يساوي تقريبًا وزن قشرة دهان بالغة الصغر تسقط من هذه السيارة. إذا رأينا الأمر من هذا المنظور، فإن الوزن الكلي لمجموعتنا الشمسية قد يساوي وزن ناقلة نفط متوسطة. ولأن وزن مجرتنا غير معروف تمامًا، من الصعب مَدّ هذه المقارنة إلى ما هو أبعد من ذلك. لكن حتى لو أن الحياة كانت بمثل هذه الندرة في مجرتنا، أو في الكون في مجمله، كما هو الحال في مجموعتنا الشمسية، لن يصل وزنها الكلي النسبي إلى ما هو أكثر من قشرة دهان على ناقلة نفط عملاقة.

تُظهر كل مادة الكون غير الحية هذه درجات متغيرة من التعقد، تتراوح بين ذرات فردية ومجرات كاملة، وهي تنظم نفسها بالكامل بفضل القوانين الأساسية للطبيعة. بينما يمكن أن تكون البنى الناتجة دقيقة فإن التعقد غير الحي لا يمكنه استخدام أية معلومات لصالحه. بعبارة أخرى، ليست هناك مراكز معلومات تحدد طبيعة عالم انعدام الحياة

الفيزيائي. ومن ثم، لا معنى للتساؤل حول ما إذا كان مخطَّط مجموعتنا الشمسية قد تم تخزينه، ما قد يساعد على تشكيل الأرض أو مجموعتنا الشمسية، لأنه غير موجود.

المستوى الثاني من التعقد هو الحياة. كما رأينا توًا، الحياة بالأحرى هي ظاهرة هامشية بمقياس الكتلة. رغم ذلك فإن الحياة أكبر بكثير من أي شيء حقَّقته الطبيعة غير الحية. بعكس التعقد غير الحي، تحافظ الحياة على نفسها بأن تحصد المادة والطاقة بمساعدة آليات خاصة. وبمجرد أن تتوقف الكائنات الحية عن فعل ذلك فإنها تموت، بينما تتحلل المادة إلى مستويات أقل تعقيدًا. وللوصول إلى هذه المستويات المرتفعة من التعقد، تنظم الحياة نفسها بمساعدة معلومات وراثية مخزَّنة في جزيئات الدنا. وبينما نحاول معرفة كيفية عمل الحياة، من ثم يكون من المنطقي إلى حد بعيد التساؤل حول مكان تمركز المعلومات التي تساعد على تشكيل عمل الحياة، وماهية هذه المعلومات، وكيفية توجيه الآليات للعمل الذي يساعد على ترجمة هذه المعلومات إلى أشكال بيولوجية وطبيعة حدود هذه الآليات في تشكيلها للكائنات الحية.

ويتكون المستوى الثالث للتعقد من الثقافة: المعلومات المخزّنة في خلايا العصب والمخ أو في سجلات بشرية من أنواع مختلفة. والنوع الذي طوَّر أكبر درجة من هذه القدرة، هو، بالطبع، الجنس البشري. بمصطلحات الوزن الكلي للجسم، يمثل جنسنا في الوقت الراهن نحو 0,005 في المائة من الكتلة الحيوية الكلية للكوكب. لو أن كل الحياة مجتمعة كانت مجرد قشرة دهان، فإن كل الكائنات البشرية حاليًا لن تتجاوز معًا مستعمرة بكتيريا بالغة الصغر مستقرة على هذه الرقاقة. ورغم ذلك تعلّم البشر من خلال جهودهم مجتمعة السيطرة على جزء مهم من الكتلة الحيوية الأرضية، وهو ما قد يتراوح حاليًا بين 25 و40 في المائة منها. بعبارة أخرى، بفضل ثقافة الكائنات البشرية فإن هذه المستعمرة بالغة الصغر من الكائنات الحية المجهرية على شريحة الدهان اكتسبت السيطرة على جزء مهم من هذه الرقاقة. ولفهْم كيفية عمل المجتمعات البشرية، ليس من الكافي، من ثم، النظر فقط إلى الدنا الخاص بها، وإلى آلياتها الجزيئية والتأثيرات من العالم الخارجي. بل نحتاج أيضًا إلى دراسة المعلومات الثقافية التي استخدمها البشر لتشكيل حياتهم الخاصة بالإضافة إلى أجزاء مهمة من بقية الطبيعة.

وبعكس الجينات، لا يمكن تعريف لبنات بناء المعلومات الثقافية بشكل غير ملتَبس. والأمر، من ثم، أكثر صعوبة بكثير في التعريف الدقيق جدًا للتعقد الثقافي.

فالمفاهيم الثقافية ليست مرنة فقط وملائمة للتغير بسرعة كبيرة، لكنها تحتاج أيضًا إلى أن يفسرها الناس. وبينما تحتاج المعلومات الوراثية للتفسير بشكل غير ملتبس في الخلايا الحية بآلياتها الخلوية لتعمل بشكل جيد، فإن نقص الالتباس في التفسير أمر نادر في المجتمعات البشرية، لو أنه حدث في أي وقت[12]. وبرغم ذلك، سمحت المعلومات الثقافية للكثير من الحيوانات، بما فيها البشر، بالمشاركة بشكل ناجح في الكفاح من أجل الحياة.

قد يكون أكبر تعقد معروف لنا، هو الحياة، ظاهرة هامشية، أي أنه نادر إلى أقصى درجة ويمكن، من حيث تركز المادة، أن يوجد على هامش نظم أكبر. توجد الحياة كما نعرفها على سطح كوكب يقع على مسافة قريبة نسبيًا من حافة مجرته. أما أغلب المادة الكوكبية تحت أقدامنا – فهي لا تحيط بنا. في المجموعة الشمسية، يتركز أغلب المادة في الشمس وليس في ما وراء مدار الأرض حول الشمس. ويمكن قول الملحوظة نفسها بالنسبة لموقعنا في المجرة. ورغم ذلك، كما لاحظ إريك شايسون، ليست هذه حالة التعقد في الحياة. يوجد أكبر تعقد بيولوجي، والأكثر تميزًا الدنا والأمخاخ، في مناطق محمية جيدًا وليس على حوافها. وهذه الأنواع من التعقد الأكبر موجودة في هذه الأماكن لأنها تحتاج إلى الحماية ضد المادة والطاقة التي تتدفق من الخارج وهي بالغة الضخامة، وقد تؤدي إلى دمارها. من الواضح أن الحياة خلقت مكانًا يناسب حماية مستوياتها من التعقد الأكبر. وفي الواقع، لعل الحياة الأرضية قد نجحت بالفعل في تحويل المحيط الحيوي إلى مكان مناسب. وهذا، من وجهة نظري، جوهر فرضية جايا Gaia hypothesis لجيمس لافلوك الواردة في الفصل الخامس، والتي تذكر أن الحياة الأرضية قد طوَّرت آليات ارتجاع مرتدّة تُحدِثُ تكيفًا للمحيط الحيوي بطرق مفيدة لاستمرار وجوده.

خلال تاريخ الكون، انبثقت كل هذه الأنواع الفيزيائية، والبيولوجية والثقافية من التعقد من تلقاء نفسها. في المقاربة العلمية، لا يعتبر التأثير المحتمل للقوى فوق الطبيعية التي جلبت التعقد تفسيرًا مقبولًا، لأننا لم نلاحظ أبدًا وجود تأثير لهذه القوى. والسؤال الرئيسي يصبح في هذه الحالة: كيف ينظّم الكون نفسه؟ بل إن هذا السؤال يصبح أكثر صعوبة عندما ندرك أننا نلاحظ العكس في حياتنا اليومية، أي انهيار التعقد وتحوُّله إلى فوضى. فغرف الأطفال، مثلا، لا تنظم نفسها أبدًا، بينما المدن التي

ينقصها نظام جمع القمامة قد تختنق بسرعة في نفاياتها. وتسمَّى هذه النزعة القانون الثاني للديناميكا الحرارية، والذي يقول بأنه مع مرور الوقت، يجب أن يرتفع مستوى الفوضى، أو الإنتروبيا. وبعبارة أخرى، يجب أن يكون تاريخ الكون هو أيضًا تاريخ زيادة الفوضى. وأي ارتفاع مَحَلّي في التعقد يجب أن يصاحبه بالضرورة ارتفاع أكبر في الفوضى في مكان آخر. مع هذا الموقف، كيف ظهر التعقد بنفسه على أي حال؟

تدفقات الطاقة وانبثاق التعقد

لفهم ظهور واندثار التعقد، من المهم توضيح الاختلافات بين انبثاق التعقد، واستمراره خلال فترة زمنية معينة واندثاره في النهاية. وتبعًا لوجهة النظر الحديثة، فإن انبثاق أي نوع من التعقد يتطلب تدفق طاقة خلال المادة. وفقط بهذه الطريقة يكون من الممكن ظهور المزيد من البنى المعقدة. ويجب أن يحتاج ظهور الحياة، مثلًا إلى تدفق طاقة مستمر. لكن النجوم تحتاج أيضًا إلى وجود تدفق في الطاقة، بينما الشيء نفسه يحدث بالنسبة للكواكب والمجرات، كما سنرى في الفصول التالية.

بمجرد انبثاق التعقد، يعود إلى طبيعته ما إذا كانت هناك حاجة إلى طاقة للمحافظة على استمراره. تعتبر بعض أنواع التعقد غير الحي قريبة من التوازن الديناميكي الحراري، وهو ما يعني أنه في الظروف السائدة يحدث القليل جدًا من التغير التلقائي. لا تحتاج الصخور التي تتأرجح في الفضاء الخالي، على سبيل المثال، إلى تدفق طاقة لكي تبقى تقريبًا بالشكل نفسه لمدد زمنية طويلة، طالما لم تضطرب نتيجة أحداث خارجية. والأمر نفسه بالنسبة إلى المجرات والثقوب السوداء. ورغم ذلك حتى هذه البنى البسيطة نسبيًا لم تكن أبدًا معزولة بإحكام بشكل كامل عمَّا يحدث في بقية الكون. وبالتالي، فإنها تعاني من تغير من خلال طاقة من الخارج، مثل الإشعاع الكوني، أو التصادمات مع الأجرام السماوية الأخرى أو تحلل ذراتها خلال فترات زمنية طويلة إلى أقصى حد. ولأنها تفتقد إلى تدفق طاقة يمكنه الوقوف في وجه هذه الميول، سوف تتحلل هذه البنى البسيطة في النهاية وتفقد بذلك أي تعقد لها على المدى البعيد جدًا[13].

وتعتبر الأنواع الأكثر تعقدًا للطبيعة غير الحَيّة، وعلى الخصوص بدرجة أكبر النجوم والكواكب، قريبة جدًا في الغالب من التوازن الديناميكي الحراري ويمكن أن توجد فقط بسبب تدفق طاقة يسمح لها بالمحافظة على شكلها. ويقال عن هذه الأجرام إنها في حالة مستقرة ديناميكيًا. بالفعل، تتغيَّر النجوم والكواكب باستمرار، ورغم ذلك

قد تحتفظ بشكلها تقريبًا عبر فترات زمنية طويلة. ويمكن للنجوم، مثلًا، أن تتوهَّج طالما أنها تطلق طاقة داخلها خلال عملية اندماج نووي، حيث يتحول الهيدروجين إلى هليوم. وعلى العكس فإن التعقد الطبقي الحالي، والأقل ديناميكية بكثير، للأرض، والذي يتكون من قشرتها الخارجية، والغلاف والقلب، ظهر نتيجة لتدفقات الطاقة التي حدثت خلال انبثاقها، والذي انتهى الآن في معظمه. في الوقت الراهن يتم تحديد التعقد الديناميكي لسطح كوكبنا بواسطة الحرارة المنبعثة من أعماقه خلال عمليات الاندماج النووي، بالإضافة إلى الطاقة من الخارج الآتية من الشمس.

كما يرى العالم البلجيكي ذو الأصل الروسي إليا بريجوجين Ilya Prigogine، فإن كل أنواع الحياة بعيدة جدًا عن التوازن الديناميكي الحراري. وبعكس الطبيعة غير الحية، يجب أن تجلب المادة والطاقة من الخارج بشكل مستمر. على البشر، مثلًا، الاستمرار في الأكل، والشرب والتنفس بشكل مستمر للمحافظة على استمرار تعقُّدنا. لو أننا توقفنا عن فعل ذلك، ما أسرع ما سوف يبدأ تعقدنا في التحلل. والطاقة التي نتناولها تخدم أغراضًا كثيرة: فهي تحافظ على استمرار أرضنا، وعلى وضع الخطط والتحرك هنا وهناك...إلخ. خلال هذه العمليات، تتحول الطاقة التي تم تناولها من طاقة عالية النوعية إلى طاقة أدنى في النوعية. ونتيجة لذلك، تتولد لدينا حرارة باستمرار (طاقة ذات نوعية أدنى) يتم إشعاعها في ما بعد في البيئة المحيطة. هذه إحدى طرق البشر في التخلص من الفوضى (إنتروبيا) الحتمية الناتجة عن استمرار تعقدنا. لو أننا عجزنا عن إشعاع هذه الطاقة، سنموت بسرعة بحرارتنا الخاصة. الطريقة الأخرى الرئيسية للتخلص من الإنتروبيا هي إطاعة نداء الطبيعة بالتخلص من الفضلات. هذه الصفات المميزة لا تنطبق فقط على البشر ولكن أيضًا على كل الكائنات الحية.

للتلخيص، يشترك تعقد البشر، والأرض والشمس جميعًا في الاحتياج إلى تدفق طاقة من خلال المادة للاستمرار في الوجود بينما يتم إنتاج إنتروبيا. ولقد صاغ خبير الطاقة الكندي فاكلاف سميل Vaclav Smil ذلك في 1999 كما يلي:

> «الطاقة هي العُملة الوحيدة العامة المتداوَلة: أحد أشكالها الكثيرة يجب أن تكون التحول إلى شكل آخر لكي تتألق النجوم، وتدور الكواكب، وتنمو النباتات، وتتطور الحضارات. وإدراك هذه العمومية كان أحد الإنجازات العظيمة للعلم في القرن التاسع عشر، لكن من المثير للدهشة أن هذا الإدراك لم يؤدِّ إلى دراسات شاملة منهجية ترى عالمنا من خلال منشور الطاقة[14]».

بينما تتدفق الطاقة خلال المادة، فإنها تتغير حتمًا من حالة أكثر خصبًا إلى حالة أقل خصبًا. وقد ينتج ذلك من امتصاص بعض من هذه الطاقة بواسطة المادة التي تصبح أكثر تعقدًا. ويمكن للكثير من الجزيئات التي تنتجها الحياة، على سبيل المثال، أن تتشكل فقط بإضافة طاقة. ورغم ذلك بمجرد انهيار هذه الأنواع من التعقد الأكبر، يتم إطلاق هذه الطاقة من جديد، رغم أن هذا يتم دائمًا على هيئة نوع ذو نوعية أدنى. والحاجة إلى امتصاص كميات معينة من الطاقة لجعل التعقد قابلًا للظهور هو مبدأ عام جدًا. يجب النظر إليه باعتباره تحسينًا للمقاربة العامة السابق ذكرها التي تتضمن تدفق الطاقة خلال المادة باعتبارها ضرورة مطلقة لظهور التعقد.

بتدفقها خلال المادة، تتغير الطاقة دائمًا من نوعية أعلى إلى نوعية أدنى. على سبيل المثال، الطاقة المخزنة في تناولنا للطعام ذات قيمة أعلى بشكل واضح للمحافظة على استمرار تعقدنا مقارنة بالطاقة المتبقية في المنتجات التي نتخلص منها. من الواضح أن بعض أنواع الطاقة تستطيع بشكل أفضل إنتاج التعقد أو المحافظة عليه أكثر من غيرها. في علم الديناميكا الحرارية، يتم التعبير عن قدرة الطاقة على تغيير المادة بمصطلح «الطاقة الحرَّة». وفي هذا الكتاب، الذي يقدم أول نظرة أولية عن هذه المقاربة العامة للتاريخ الكبير، لن نفحص بشكل منظَّم كيفية تغيرات الطاقة وهي تتدفق خلال المادة. وبدلًا عن ذلك، سوف نضع في اعتبارنا غالبًا مُدخل الطاقة فحسب. وبتحليل أكثر نقاء، سيكون من المهم أيضًا، بالطبع، البحث المنظم حول تغيرات الطاقة وهي تتدفق خلال المادة.

هل يمكننا قياس وحساب تدفقات الطاقة هذه خلال المادة عبر كل التاريخ؟ في كتابه المبدع في 2001 «التطور الكوني: ظهور التعقد في الطبيعة» سعى إريك شايسون لفعل ذلك بتعريف مفهوم «كثافة معدل الطاقة الحرة»، والذي يحمل الرمز Φm باعتباره كمية الطاقة التي تتدفق خلال كمية معينة من الكتلة ضمن فترة زمنية محددة. بالنسبة للكائنات البشرية، مثلًا، هي كمية الطاقة التي نتناولها خلال فترة زمنية ما، دعنا نقول 24 ساعة، مقسومة على وزن جسمنا. من حيث المبدأ، تسمح لنا مقاربة شايسون بحساب هذه القيم لكل نوع من التعقد وُجد في أي وقت، من أصغر الجسيمات حتى تجمعات المجرات. وهذا يجعل من الممكن مقارنة أنواع التعقد بشكل منهجي. لسوء الحظ، يُعتبر مصطلح «كثافة معدل الطاقة الحرة» غير عملي بالأحرى، بينما هو مرادف

لمصطلح «كثافة الطاقة power density»، وهو مستخدَم غالبًا بواسطة علماء الفيزياء، مثلما ذكر شايسون في كتابه. ولأن شايسون بدأ في العام 2009 استخدام مصطلح «كثافة الطاقة» بدلًا عن «كثافة معدل الطاقة الحرة»، سيكون هذا هو مصطلحنا المفضَّل[15].

أشار شايسون بعد ذلك إلى وجود ارتباط واضح بين المستويات التي تم تعريفها بشكل حدسي للتعقد الذي رُصد في الكون المعروف وكثافات الطاقة التي تم حسابها. وربما يكون من المدهش، حيث قد يبدو البشر بالغي الصغر مقارنة بالجوانب الأخرى للتاريخ الكبير، فنحن قد نتجنا عن كثافات طاقة أكبر بكثير في الكون المعروف[16]. في الجدول (2-1)، لخَّص شايسون بعض هذه النتائج[17].

بالنسبة للكثير من الناس، تعتبر هذه النتائج مضادة للحدس. قد يتوقع المرء، على سبيل المثال، أن كثافة قوة الشمس أكثر بكثير من كثافة أمخاخنا. ورغم ذلك بينما تبث الشمس طاقة أكثر بكثير من الطاقة التي تستخدمها أمخاخنا، فإن كثافة طاقة المخ أكبر بكثير، لأن المخ أصغر بكثير جدًا مقارنة بالشمس. بشكل عام، تُعدُّ كثافات الحياة أكثر بكثير من كثافات المادة غير الحية. ومن الواضح، أن هذه النُظم الحية بالغة الصغر تولد كثافات طاقة أكبر بكثير من نظائرها المنعدمة الحياة.

من أجل فهم جيد للأعداد في هذا الجدول، نحتاج إلى أن نضع في اعتبارنا حسابات شايسون بتفاصيل أكثر[18]. دعنا نبدأ بكثافة الطاقة للمجرات. قد يظن الكثير من الناس أن المجرات هي تجمعات بسيطة للنجوم. لو أن الوضع هكذا، لكانت كثافة الطاقة لأية مجرَّة هي ببساطة متوسط كل كثافات الطاقة للنجوم الفردية فيها. ورغم ذلك تعتبر كثافة طاقة المجرات لدى شايسون (ومجرتنا بالفعل) أصغر. بالإضافة إلى حقيقة أن كمية كبيرة من المادة في مجرَّتنا تتكون من الغاز والغبار، فإن كثافة الطاقة لمجرتنا أقل أيضًا لأن ما يطلق عليه المادة المظلمة متضمن في كتلتها الكلية. لسوء الحظ، كما سيتم شرحه في الفصل الثالث، فإننا لا نعرف ما إذا كانت المادة المظلمة توجد بالفعل أم لا. بالإضافة إلى ذلك، يُعتقد أن مجرتنا ملجأ لثقب أسود ثقيل بالأحرى في مركزها، يتكون من مادة بالغة الكثافة، لعلها تُبرز تعقدًا بالغ الصغر، لو كان هناك تعقد ما على أي حال. ولأن الغاز، والغبار، والثقوب السوداء لا تبث أية طاقة، بينما قد تمثل جزءًا كبيرًا من كتلة المجرة، فإنها تقلل من كثافة الطاقة فيها، وهو ما يعتبر، من ثَمَّ، أصغر من كثافة الطاقة بالنسبة للنجوم. في الواقع، تم حساب قيمة النجوم لدى شايسون بالنسبة لشمسنا، وهي نجم متوسِّط.

الجدول (2–1): بعض كثافات الطاقة التي تم تقديرها (تم إعادة نسخها بإذن)

البنية العامة	العمر التقريبي (10^9 سنة)	متوسط Φm (10^{-4} واط/كج)
المجرات (درب التبانة)	12	0,5
النجوم (الشمس)	10	2
الكواكب (الأرض)	5	75
النباتات (المحيط الحيوي)	3	900
الحيوانات (الجسم البشري)	10^{-2}	20000
الأمخاخ (جمجمة بشرية)	10^{-3}	150000
المجتمع (ثقافة حديثة)	صفر	500000

بينما تحافظ عملية بث تدفقات الطاقة من النجوم على استمرارها في الوجود، فإنها لا تخلق البنية الكلية لمجرتنا: سحابة ضخمة تتحرك بحركة دورانية ملتوية من النجوم بأذرعها الهائلة. وتدفقات الطاقة التي أظهرت ذات مرة هذه البنية المجرّية غائبة عن حسابات شايسون. وسبب ذلك هو أن بنية مجرتنا ظهرت منذ وقت طويل، بينما لا تحتاج حاليًا إلى أية طاقة للاستمرار في الوجود. لكن هذا قد يتغير. بمجرد تصادم المجرات، يتم توليد تدفق للطاقة الحركية تعيد تشكيل المجرات. مثل هذا اللقاء متوقع أن يحدث بين مجرتنا وأقرب أقربائها، سديم أندروميدا، خلال ما بين 2 إلى 5 مليارات سنة من الآن. وأيضًا في المجرات هناك تغير دائم، بما في ذلك تقلّص سُحُب الغاز وانفجار النجوم، وهو ما يطلق طاقة تعيد تشكيل المجرات. ومع ذلك، فبالنسبة للمدى البعيد، ربما تكون تدفُّقات الطاقة هذه وتأثيراتها بالغة الصغر مقارنة بخرج كل النجوم معًا ولا يجب، من ثم، أخذه في الحسبان لحساب تقدير من الدرجة الأولى لكثافة قوة مجرتنا.

تصف كثافة طاقة المجرات لدى شايسون نظامًا مجريًا مستقرًا نسبيًا وليس نظامًا في حالة تشكل سريع أو تدهور. وتلك هي بالفعل حالة كل كثافات الطاقة لدى شايسون

- إنها جميعًا تصف نظم حالة مستقرة ديناميكيًا. بعبارة أخرى، لا تلعب تدفقات الطاقة الضرورية لظهور هذه النظم دورًا في جدول شايسون للحسابات للوقت الراهن.

دعنا ننظر الآن في كثافة قوة شايسون للكواكب. في الواقع، لا تعكس هذه القيمة تعقد أي كوكب معروف في مجمله. ولقد تم حسابه لشريحة رقيقة فقط من القشرة الخارجية للأرض بتقدير كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض خلال فترة زمنية محددة، بينما يتم استخدام وزن الغلاف الجوي بالإضافة إلى طبقة من المحيط تصل إلى 30 ميلًا ككتلة كلية. وتبعًا لشايسون، هذا هو ما يتمثل فيه تعقد كوكبنا. ولأن الطاقة الحرارية الأرضية المتولدة عميقًا داخل الأرض أصغر بآلاف المرات من طاقة الإشعاع الآتية من الشمس، لا يدرج شايسون الطاقة الحرارية الأرضية في حسابه.

كثافة الطاقة الثانية في جدول شايسون، هي متوسط كثافة الطاقة للنباتات، وهي قيمة متوسطة تتضمن كل المادة الحية، بينما تم حساب القيمة بالنسبة للحيوانات للطاقة المستخدمة بواسطة جسم الإنسان. تم التوصل إلى كثافة الطاقة هذه بحساب متوسط تناوُل الطعام لكل وزن جسم. برغم ذلك يحدث في الواقع، كما أوضح شايسون، أنه تتغير كثافات الطاقة للحيوانات الفقارية بعامل 10 تقريبًا[19]. ويطرح ذلك قضية ما إذا كانت هذه الحيوانات الفقارية التي تُظهر أكبر كثافات طاقة، كالطيور، يجب اعتبارها أكثر تعقدًا. ويقدِّر شايسون أن المجتمعات البشرية (الثقافة الحديثة) تقوم على استخدام طاقة حالي لما يصل إلى 6 مليارات شخص بمتوسط وزن جسم نحو 50 كيلوجرام (البالغون والأطفال)[20]. في هذه الحالة، لا يتدفق أغلب الطاقة خلال الأجسام البشرية. ولو حدث ذلك، لكفَّت البشرية عن الوجود على الفور.

تطرح كثافات الطاقة التي قدمها شايسون للتاريخ البشري بعض المشاكل الإضافية. وقد أشار عالم البيئة الهولندي لوكاس ريجندرس Lucas Reijnders، إلى أنه من المحتمل أن البشر القدامى، بفضل استخدامهم للنار، قد وصلوا إلى كثافات طاقة عالية جدًا. لعلهم قد تعاملوا مع تدفقات طاقة هائلة بحرقهم لمناطق ضخمة من الأرض، ما خلق أنواعًا مطلوبة من التعقد، مثل المراعي، بينما يتم تدمير أنواع أخرى من التعقد، مثل الغابات. بتأجيج النار، كانوا يشوون الطعام، بينما حافظوا على أنفسهم دافئين وقامت النار بحمايتهم من الحيوانات المفترسة. وبذلك، فإن كميات الطاقة التي تُستخدم بواسطة الأوستراليين الأصليين المحدثين كانت أكبر في قيمتها من متوسط

هذه الطاقة في عام 1997 لدى المواطنين الأمريكيين[21]. ويدعو ذلك إلى التساؤل حول مدى ضخامة كثافات الطاقة التي استطاع البشر القدامى الوصول إليها في أستراليا وفي الأماكن الأخرى، حيث يمكن إضرام النار في الطبيعة على نطاق واسع. لو رغب المرء في استخدام كثافة الطاقة باعتبارها مقياسًا للتعقد، كما يقترح شايسون، لكان من الممكن اعتبار مجتمع الأستراليين الأصليين أكثر تعقدًا من المجتمعات الصناعية الحديثة. ويبدو هذا غير مُرضٍ بالنسبة لي[22].

في الوقت الراهن، لا يتم استخدام أغلب الطاقة المستعملة بواسطة البشر في الحفاظ على أجسادهم أو حرق الأرض، إنّما من أجل بناء وتدمير ما سوف نطلق عليه «أنواع التعقُّد المركَّب»: كل التعقد المادي الذي ينتجه البشر. ويتضمن ذلك الملابس، والأدوات، والمساكن، والمحركات والماكينات ووسائل الاتصال. وبمساعدة هذه الأشياء، قام البشر بتغيير كلٍّ من البيئة الطبيعية المحيطة وأنفسهم. وللتأكيد، ليس البشر وحدهم، بل الكثير من الحيوانات أيضًا، أنتجوا الكثير جدًا من أنواع التعقد. وتتضمن الأمثلة المعروفة جيدًا شبكات العنكبوت وسدود القندس. ورغم ذلك يبدو من العدل القول بأن الجنس البشري طوَّر هذه القدرة إلى مدى أبعد بكثير من أي جنس آخر.

يمكن تقسيم التعقد الذي أنتجه البشر إلى نوعين رئيسيين. فمن جانب هناك أشياء لا تحتاج إلى تدفق طاقة للقيام بوظائفها المتوقَّعة، بينما هناك من جانب آخر أشياء تحتاج إلى هذا التدفق للطاقة. النوع الأول، الذي يمكن تسميته «التعقُّد المركَّب السلبي»، بما في ذلك أشياء مثل الملابس، والمساكن والطرق. يصنع البشر هذا النوع من التعقد كما يصنعه الكثير جدًا من الحيوانات الأخرى. والنوع الثاني من التعقد، تلك الأشياء التي تحتاج إلى مصادر طاقة خارجية مستمرة للقيام بوظائفها المتوقعة، سيتم تسميتها «التعقُّد المَركَّب المزوّد بالطاقة». ويتضمن هذا النوع الماكينات التي تعمل بطاقة الريح، والماء والوقود الأحفوري. في حدود معرفتي، البشر فقط قاموا ببناء أنواع من التعقد تعمل بمصادر طاقة خارجية. ومن هذا الوجه، يُعدُّ البشر جنسًا فريدًا من نوعه في الكون المعروف.

يُظهر الكثير من أنواع التعقُّد المركب المزود بالطاقة كثافات طاقة أعلى بكثير من كثافات طاقة الأمخاخ البشرية (نحو 15 واط/ كج) أو المجتمعات البشرية (نحو 50 واط/ كج). وكما أوضح شايسون، تصل المحركات النفَّاثة إلى كثافات طاقة بين 2000

واط/ كج (بوينج 747) و80000 واط/ كج (نايتهوك إف 117)[23]. وكثافات الطاقة العالية نسبيًا ليست فقط صفة للطائرات النفّاثة ولكن أيضًا للكثير جدًا من التجهيزات المنزلية. بينما أقوم بإنجاز القليل من الحسابات في المنزل، وجدت أنا وابني لويس أن حتى مكنستنا الكهربائية المتواضعة تُظهر كثافة طاقة نحو 180 واط/ كج، وبذلك تتفوّق على أمخاخنا أكثر من عشرة أضعاف[24]. ولا يتضمن ذلك أن المحرِّكات النفّاثة والمكانس الكهربائية يجب اعتبارها أكثر تعقدًا من أمخاخ البشر. في ما لا يشبه أنواع التعقد التي ظهرت تلقائيًا، لا تستخدم أنواع التعقد المركّب هذه الطاقة لغرض الوصول إلى تعقد أكبر في ذاتها. وبدلًا عن ذلك، تم تصميمها لاستخدام كميات كبيرة من الطاقة لأداء مهام معينة، مثل تحريك أشياء ثقيلة في الهواء أو الوصول إلى درجة معينة من النظام في الفضاء الذي نعيش فيه.

رغم ظهور الكثير جدًا من التعقد عند الفحص الأكثر قربًا، يبدو تحليل شايسون عادلًا بما فيه الكفاية كمقاربة من الدرجة الأولى. وبهذا التحليل يقدِّم ما يطلق عليه عالم الفيزياء الأمريكي موراي جيل-مان Murray Gell-Mann «نظرة أولية إلى المُجمَل»، وهو ما يُعتبر في العلوم الطبيعية أمرًا شرعيًا تمامًا[25]. وشايسون منتبه لذلك جيدًا. حيث صاغ الأمر كما يلي:

«يتعلّق التحذير الثاني (كان التحذير الأول عن خطر مركزية البشر anthropocentrism) بمستوى التفاصيل الحسابية في تحليلنا، والصدق يُقال، لقد تملّصنا من الإسهاب في بعض من التفاصيل الأكثر صعوبة. وبشكل خاص، كما ورد في مستهل حساباتنا، فإن قيم Φm التي تستخدم فقط التدفق الكبير، أي الطاقة الكلية المتاحة لحفنة من النُظم النموذجية. وتبعًا لذلك، تم تفضيل كمية، أو كثافة، الطاقة بينما يتم تجاهل مقاييس أو نوع، أو فاعلية هذه الطاقة. ومن الواضح، أن المزيد من التحليل قد يجسِّد هذه العوامل مثل درجة الحرارة، والنوع، والقابلية للتغير لمصدر بث الطاقة، بالإضافة إلى كفاءة استقبال المنظومة لاستخدام هذا التدفق الحر للطاقة خلالها. ورغم كل ذلك، يمكن لمدخل طاقة ذي طول موجة محدَّد أن يكون أكثر فائدة أو تدميرًا عن غيره، اعتمادًا على حالة المنظومة، ومستقبلاتها، وعلاقتها بالبيئة. بالمثل، فإن كفاءة استخدام الطاقة قد يتغير في ما بين المنظومات بل وحتى في أجزاء منظومة معينة، تحت الظروف البيولوجية، على سبيل المثال، ويكون بعض من الطاقة

الآتية فقط متاح للجهد، وتقنيًا يكون هذا الجزء فقط هو الطاقة الحرة الحقيقية. أن تستفيد الطاقة من بعض أجزاء المنظومة أكثر من غيرها لهو تحسين ضروري للإبداع الأكبر الآتي. وبالنسبة لهذا الموجز، تكفي تقديراتنا لعرض النزعات العامة، والخطوة التالية دراسة مكتملة أكثر (ربما نقول أكثر «تعقدًا») لفحص كيف، وكيف بشكل جيد، تستخدم المنظومات المفتوحة تدفقات طاقتها الحرة لتعزيز التعقد.

حتى النوعية المطلقة للطاقة التي تتدفق خلال المنظومات المفتوحة تحتاج أن نضعها في اعتبارنا بشكل أكثر حرصًا في تحليل تفصيلي. وليس فقط أن أي تدفق للطاقة سيفعل ذلك، حيث قد يكون بالغ الانخفاض أو بالغ الارتفاع لمساعدة تعقد منظومة ما. وتدفقات الطاقة شديدة الانخفاض تعني أن المنظومة ستظل بالأحرى عند تعادل ما أو عند ما يقترب من هذا التعادل مع المهبط الحراري، بينما ستُسبِّب التدفُّقات بالغة الارتفاع اقتراب المنظومة من التعادل مع ما يجب أن يكون بصورة مجدية مصدرًا ساخنًا – أي، يدمِّر المنظومة حتى نقطة التحطم.. والنظام الدائم هو خاصية للمنظومات التي تتمتع بمعدلات تدفق معتدلة، أو «مثالية»، وهي تشبه قليلًا الفرق بين سقاية نبات أو إغراقه. بعبارة أخرى، لأي شعلة، ومشعل لحام، وقنبلة، من بين الكثير من الأدوات الطبيعية الأخرى أو من صناعة الإنسان، قيم كبيرة من Φm بحيث تصبح عديمة الفائدة[26]».

كل ذلك يذكّرنا من جديد بحقيقة أن البيانات الواردة في جدول شايسون تدور حول نظم المادة المستقرة نسبيًا مع تدفقات طاقة مستقرة نسبيًا، وليست عن ظهور أو اندثار أنواع خاصة من التعقُّد.

في هذه المقاربة، استخدم شايسون هذه الأرقام بادئ ذي بدء كطريقة لقياس المستويات المختلفة للتعقد. تلك كانت طريقته في التعامل مع قضية كيفية التعريف الدقيق وقياس المستويات المختلفة للتعقد. وفي الوقت نفسه، استخدم شايسون أيضًا هذه الأرقام باعتبارها مؤشرًا للطاقة الضرورية للوصول إلى أو المحافظة على مستويات معينة للتعقد. وسيتم اتباع هذه المقاربة الأخيرة في هذا الكتاب. وفي الفصول التالية، سيكون من الواضح أنني لن أستخدم مفهوم كثافة الطاقة باعتباره المقياس الواحد والوحيد لقياس المستويات المختلفة للتعقد. وسوف يتم استخدامه فقط باعتباره مؤشرًا للطاقة الضرورية لظهور التعقد واستمراره في الوجود.

مبدأ جولديلوكس

كما ذكر إريك شايسون، لكن دون إسهاب، يمكن أن يظهر التعقد فقط عندما تكون الظروف مناسبة. وهذا يتضمن في المقام الأول، أن تكون لبنات البناء وتدفقات الطاقة متاحة، إضافةً إلى شروط محدَّدة كثيرة مثل درجات الحرارة والضغوط والإشعاع. لا يمكن أن يظهر التعقد، أو يتم تدميره، عندما تكون الظروف غير مناسبة. وينتج انهيار التعقد عادة بواسطة تدفُّقات الطاقة أو عندما تكون مستويات الطاقة قد أصبحت بالغة الارتفاع أو بالغة الانخفاض بالنسبة لهذا النوع الخاص من التعقد. على سبيل المثال، لو أن كائنات بيولوجية حية مثلنا تجد نفسها من دون حماية في درجات حرارة تكون باستمرار إما تحت 10 درجات مئوية أو فوق 40 درجة مئوية، لكانت قد كفَّت عن الوجود. ومن الواضح أن هناك نطاقًا معينًا من مستويات درجة الحرارة يمكن للبشر أن يعيشوا فيه. وتوجد مثل هذه النطاقات ليس فقط بالنسبة لكل الأجناس الحية ولكن أيضًا بالنسبة للصخور، والكواكب والنجوم. بعبارة أخرى، تتصف كل نظم المادة المستقرة نسبيًا بشروط معينة يمكن لها من خلالها أن تظهر وتستمر في الوجود. وبالإشارة إلى قصة أطفال أنجلوسكسونية شهيرة، ينطبق على ذلك مبدأ جولديلوكس.

وبالنسبة للقرَّاء غير المعتادين على قصة جولديلوكس، نقول إنها فتاة صغيرة حدث أنها كانت تطوف في بيت في غابة حيث كان يعيش دبٌّ صغير مع والديه. ولم تكن الدببة، مع ذلك، في البيت. وجولديلوكس، التي كانت جائعة ومغامِرة، حاولت في البداية تجربة طاسات عصيدة على طاولة المطبخ. ووجدت أن العصيدة في الطاسة الأكبر بالغة السخونة، وأن العصيدة في الطاسة متوسطة الحجم باردة جدًا، لكن العصيدة في الطاسة الصغيرة هي المناسبة فحسب. عندئذ جرَّبت المقاعد. ووجدت أن المقعد الأكبر كان قاسيًا جدًا، والمتوسط كان لينًا أكثر من اللازم، بينما كان المقعد الأصغر ملائمًا تمامًا. واستمرت في ذلك حتى عادت الدببة إلى البيت، ولم يعجبها ما رأت. ونتيجة لذلك، هربت جولديلوكس[27].

لست أول من استخدم مصطلح «مبدأ جولديلوكس». خلال العشر سنوات الماضية، بدأ بعض العلماء في استخدام هذا المصطلح للإشارة إلى الظروف التي تحد من ظهور واستمرار وجود الأنواع المختلفة من التعقد. بالنسبة لعلماء الطبيعة، قد يكون مبدأ جولديلوكس واضحًا، لأنهم ينجزون كل تحليلاتهم من وجهة النظر هذه. ومن المثير

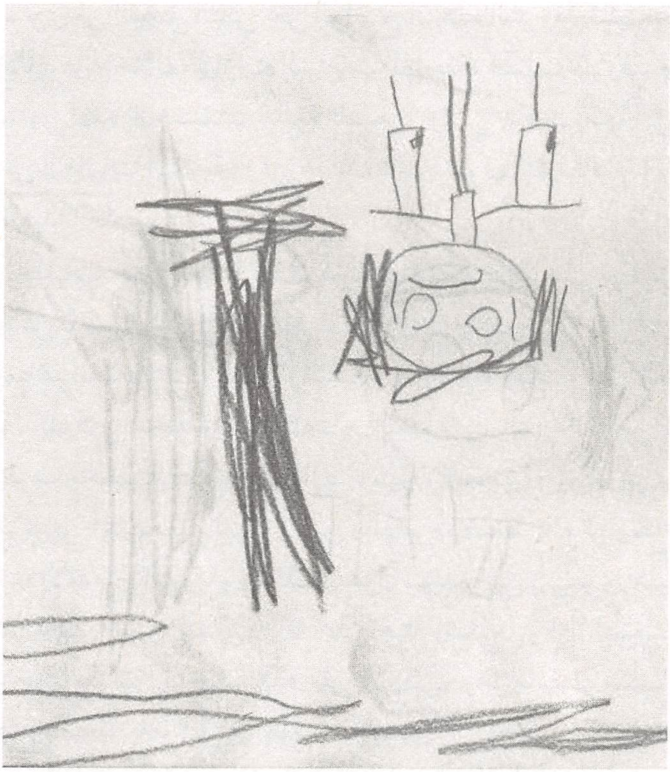
للدهشة، مع ذلك، فإنه في حدود علمي لم يقدِّم أيُّ أحد هذا المبدأ بإسهاب بشكل منتظم بالنسبة لكل التاريخ الكبير[28].

يشير مبدأ جولديلوكس إلى حقيقة أن على الظروف أن تكون مناسبة تمامًا لوجود التعقد. ومن المهم معرفة أن هذه الظروف لا تكون هي نفسها في الغالب بالنسبة لظهور التعقد وبالنسبة لوجوده المستمر. على سبيل المثال، فإن ظروف جولديلوكس التي تفضِّل ظهور أصغر الجسيمات توجد فقط خلال الدقائق القليلة الأولى في تاريخ الكون، كما سنرى في الفصل التالي. من الواضح أن هذه الشروط كانت مقيَّدة إلى حد كبير. ورغم ذلك فإنه خلال مليارات السنوات اللاحقة، فضَّلت ظروف جولديلوكس الوجود المستمر لهذه الجسيمات بالغة الصغر، والتي يتكون منها كل شيء، من المجرَّات حتى الكائنات البشرية. وفي هذا الكتاب، سوف تتم مناقشة الكثير جدًا من الأمثلة لهذا المبدأ العام.

لا توجد متطلَّبات جولديلوكس بنفسها، لكنها تعتمد دائمًا على نوع من التعقد قيد البحث. لا يمكن للبشر، مثلًا، العيش تحت أو فوق درجات حرارة معينة، بينما تتضمن احتياجاتنا المباشرة ضغط هواء كافيًا، وأكسجين، وطعامًا وماءً. وعلى العكس، تكون متطلبات جولديلوكس مختلفة جدًا. تحتاج النجوم كميات هائلة من الهيدروجين المدمج عن قرب يحيط به فضاء خالٍ بارد. ونتيجة للجاذبية، يتولَّد عن هذه الكرات الهائلة، المكوَّنة في أغلبها من الهيدروجين والهليوم، ضغط بالغ الارتفاع في داخلها تشعله عمليات الاندماج النووية، وبذلك يتحول الهيدرجين إلى نوى هليوم أكثر ثقلًا (وبالتالي أكثر تعقدًا) بينما تنطلق طاقة على هيئة إشعاع. ومن الصعب جدًا إعادة إنتاج ظروف جولديلوكس النَجمية هذه على الأرض، وهو ما يفسر سبب أن الاندماج النووي لم يصبح ممكنًا بعد كطريقة لتوليد الكهرباء[29]. باختصار، اتصفت كل ظروف جولديلوكس بنطاقات معينة. وتعرف العلوم الطبيعية هذه الحدود العليا والدنيا باسم الشروط الحدية.

أكثر من أي حيوان آخر، خلق البشر الكثير جدًا من ظروف جولديلوكس كي تساعدهم على البقاء. ويمكن أن تتصف بصفة اجتماعية ومادية. تتضمن ظروف جولديلوكس المادية الملابس، والمساكن، والأدوات من كل نوع، وطرق استعمالها، بينما يمكن تمثيل مثال لظروف جولديلوكس الاجتماعية بقواعد المرور. تهدف

القواعد إلى تعريف السلوك البشري بطرق تسمح لأعضاء جنسنا بالوصول إلى مقاصدهم بكفاءة أفضل نسبيًا، بينما تهدف في الوقت نفسه إلى المحافظة على تعقد كل المشاركين المتضمّنين في ذلك. وهؤلاء الذين يفشلون في تنفيذ قواعد المرور يفعلون ذلك عادة للوصول إلى مقاصدهم بسرعة أكبر رغم المخاطرة بالتنازل عن الأمان. في الواقع، يمكن تفسير كل القواعد الاجتماعية باعتبارها ظروف جولديلوكس ابتكرها البشر للمحافظة على أنواع محددة من التعقد.



الشكل (2-1): جولديلوكس تسقط من فوق شجرة. من الواضح أنها تجاوزت حدودها. وبسرعة سيحدث دمار لتعقدها نتيجة التصادم الناتج عن طاقة الجاذبية. (رسم جويليا سباير، عمر 4 سنوات).

تميل ظروف جولديلوكس إلى التغيُّر في كلٍّ من المكان والزمن. وسوف أطلق على هذه التغيرات «منحدر جولديلوكس». تمت صياغة هذا المفهوم للمرة الأولى كإجابة عن سؤال عن سبب أن سطح كوكبنا يبدو مكانًا جيدًا جدًا لانبثاق تعقُّد أكبر.

لماذا، بالفعل، يعيش البشر على الحافة الخارجية لكوكبنا الوطن، وليس عميقًا في قشرته السفلى؟ إجابتي عن هذا السؤال هي أن الحافة الخارجية لكوكبنا تظهر عليها اختلافات ملحوظة في ظروف جولديلوكس في الفضاء عبر مسافات قصيرة نسبيًا، بعبارة أخرى منحدرات جولديلوكس شديدة الانحدار. ويسمح ذلك أن تغنم الحياة كميات كبيرة من الطاقة بينما تتخلّص من كميات كبيرة من الإنتروبيا. وسوف يتم تقديم ذلك بالتفصيل في الفصول التالية. يكفي القول هنا إنه بيّن علماء البيولوجيا، تكوّن منحدرات جولديلوكس شديدة الانحدار بين المناطق البيئية المختلفة المعروفة على أنها «المساحات البيئية ecotomes» وتمت دراستها بشكل كثيف[30].

يتطلّب الفهم الأفضل للتعقد ليس فقط مفهوم منحدرات جولديلوكس في المكان ولكن أيضًا منحدرات جولديلوكس عبر الزمن. وفي حين أنه يمكن أن يتراوح نطاق مناطق المناخ الكوكبي بين المناطق الاستوائية والقطبية باعتباره منحدرات جولديلوكس في المكان، يمكن تفسير التغير المناخي الذي يحدث في هذه المناطق باعتباره منحدرات جولديلوكس عبر الزمن. قد تظهر على المنحدرات المناخية عبر الزمن أنماط أكثر أو أقل انتظامًا، مثل تلك الناتجة عن تغيرات منتظمة لمدار الأرض حول الشمس، وهو ما يطلق عليه دورات ميلانكوفتش Milankovic cycles. وسوف يتم شرح ذلك بمزيد من التفاصيل في الفصل الرابع. ويكفي القول هنا إن منحدرات المناخ عبر الزمن قد أثّرت على الحياة على الأرض بشكل عميق عبر كل الزمن الذي نستطيع رصده.

باختصار، لفهم ظهور واندثار أي نوع من التعقد، لا يجب أن ننظر فقط إلى تدفقات الطاقة من خلال المادة، ولكن أيضًا بالفحص المنظم لظروف جولديلوكس السائدة. أظن أن مقاربة «تدفقات الطاقة خلال المادة» المتحدة مع مبدأ جولديلوكس قد تتيح أول مخطّط لنظرية تاريخية لكل شيء، بما في ذلك التاريخ البشري. وبينما لا تستطيع هذه النظرية، بالطبع، أن تفسّر كل شيء حدث، فإنها تعطي تفسيرًا للنزعات العامة التي حدثت في التاريخ الكبير.

بينما يتم اتباع مسارٍ جديد، وبالأحرى غير مطروقٍ، في هذا الكتاب، يجب النظر إلى اجتهادي كمحاولةٍ أولى عند صياغة إطار نظري محكم للتاريخ الكبير. قد تشكّل هذه المقاربة بالفعل أجندة بحث ما بين الأفرع العلمية، التي يمكن، في حالة متابعتها،

أن تسمح لبعض من علماء الفلك، حتى المؤرِّخين وعلماء الأنثروبولوجيا، أن يتعاونوا بطرق غير مسبوقة بينما يتحدَّثون باللغة العلمية نفسها. قد يبدو ذلك مثاليًا، ورغم ذلك فإن هذه العملية قد بدأت بالفعل[31].

في الصفحات التالية، سوف أقدم وجهة نظر شاملة مبسَّطة عن التاريخ الكبير. ولأسباب واضحة، من المستحيل تقديم مناقشات تفصيلية حول كل شيء حدث في أي وقت في كتاب واحد. ولا توجد هذه المشكلة على وجه الحصر في التاريخ الكبير. أي وجهة نظر شاملة حول أي جزء من التاريخ تتقيَّد بأنها تبسيط للواقع، لأنه لا يوجد أي مؤرِّخ يعرف في أي وقت كل تفاصيل موضوعه. ويضاف إلى ذلك، يتم تبنّي الخيارات طوال الوقت حول ما يجب إدراجه وما يجب إهماله. مع ذلك، لديَّ أمل كبير في أن النزعات العامة في حكايتي للتاريخ الكبير سوف تقدم أغلب، إن لم يكن كل التفاصيل. وقد يمثل ذلك اختبارًا أساسيًا لنظريتي. ولسوء الحظ، توجد في المجتمع العلمي معارضات لجوانب كثيرة جدًا في التاريخ، بينما تعتبر النظريات العلمية الراسخة، ربما بشكل ملحوظ أكثر في علم الكون، غير كافية في الوقت الحالي لتفسير كل الملاحظات. نتيجة لذلك، يجب تبنّي الكثير جدًا من الخيارات في ما يخص السؤال حول نوْع التاريخ الذي يجب تقديمه هنا. ورغم أنني أقدم وجهات نظر متعارِضة عن التاريخ في بعض الحالات، أجد أنه من المستحيل تلخيص كل النزعات التي قابلتها.

على الرغم من كل هذه التحذيرات، لديَّ أمل في أن أقنع القارئ بأن مخطَّطي النظري يقدم بالفعل أطر مقاربة جديدة متكاملة للنظر في صور الماضي بطريقة تعيد توحيد المجالات الأكاديمية والأفرع العلمية التي انفصلت عن بعضها، في الوقت الذي أقدِّم فيه تفسيرات عامة حول ما نظنه طبيعة الماضي. بينما قد لا نستطيع أبدًا تفسير كل شيء حدث، لديَّ أمل في توضيح أن الموقف المعاكس، أي عجزنا عن تفسير العلميات التاريخية من وجهة نظر عامة، يعتبر أمرًا غير ممكن الدفاع عنه. إن التحدي يكمن في العثور على موقف وسط بين بديلين كليهما خطر، هما عدم وجود أي تفسير بالمرة، والمصادفة التي تحكم البحث عن تفسير لكل شيء. ولا توجد لذلك أية فرصة.

تتعامل مقاربتي العامة مع ظهور، واستمرار وجود، وحتمية اندثار، التعقد في كل مظاهره في التاريخ الكبير. ويساعد امتداد إطاره الراسخ عبر كل الزمن والمكان في تبرير أهمية فهم تاريخ البشر في سياقه الكوني.

الفصل الثالث

التطور الكوني

ظهور أنواع التعقد البسيطة

مقدمة

إنّ تاريخ الكون كما يحكيه علماء الكون متفق تمامًا مع فكرة أنه، داخل حدود جولديلوكس معينة، تحدِّد تدفقات الطاقة خلال المادة مسار الأحداث إلى مدى كبير، بينما تعود المسؤولية على المصادفة في ما تبقى. لا يجب أن نندهش من ذلك، لأن تلك هي الطريقة التي يفسر بها علماء الفلك وعلماء الكون بياناتهم. ونتيجة لذلك، يقدم هذا الفصل معرفة جديدة ضئيلة جدًا، أو لا معرفة البتة، لعلماء الفلك. رغم ذلك، من الجدير بالملاحظة أنه على ما يبدو لا يوجد أحد كتب حكاية منهجية عن التاريخ الكوني تمت صياغتها بوضوح بهذه المصطلحات. من ثَمَّ، يعتبر تقديمي لهذه القصة تكرارًا للنوع الحالي من الأحداث الكونية مع تأكيد خاص على تدفقات الطاقة خلال المادة وظروف جولديلوكس[1]. وكما سنرى لاحقًا، تبدأ هذه المقاربة النظرية في اكتساب معناها خلال الفترة التي ظهرت فيها المادة المستقرة. قبل هذا الزمن، كانت الطاقة ومستويات درجة الحرارة بالغة الارتفاع حتى إن المادة المستقرة لم تكن قد ظهرت بعد.

في البداية المتوقَّعة للزمن والمكان، قد يكون من المناسب ذكر قلة من الأشياء حول (تعيين التواريخ الدقيقة للأحداث وتسلسلها) الكرونولوجيا chronology. في

التطور الكوني، يتم حساب عمر الكون بالسنوات، بينما يتم التعبير عن فترته الزمنية الأقدم بالثواني. والسنة، بالطبع، يتم النظر إليها عادة باعتبارها الزمن الذي تستغرقه الأرض للدوران حول الشمس. لكن ما الذي تحدّده السنة بالفعل؟ ليس ذلك الأمر بالسهولة التي يبدو عليها. رغم أن مدار الأرض حول الشمس مستقر نسبيًا، لا يكون أبدًا هو نفسه بالضبط من سنة إلى أخرى[2]. ويضاف إلى ذلك، أن الدوران حول محور الأرض يتباطأ، وهو ما يؤدي إلى أيام وليالٍ أطول بالإضافة إلى أيامٍ وليالٍ أقصر كل سنة. وكل ذلك تسبب في مشاكل بالنِّسبة لتطوير قياسات زمن صحيحة بشكل متزايد. وبالتالي، لم يعد يتم تعريف الزمن تبعًا للتحركات السماوية ولكن قياسًا بعدد تذبذبات نوعٍ خاص جدًا يتمثل في عنصر السيزيوم 133 الكيميائي. الثانية الواحدة يتم تعريفها الآن بأنها الزمن الذي يحتاجه 9192631770 من هذه التذبذبات لكي تحدث[3]. ورغم عدم وجود موافقة تامة، يتم تعريف السنة غالبًا باعتبارها فترة زمنية 31557600 ثانية. في التاريخ الكوني، يتم استخدام بنية الزمن هذه أيضًا لوصف الفترة الزمنية التي لم يكن السيزيوم 133 قد وُجد خلالها بعد، فضلًا عن السنوات الأرضية، بل حتى الفترة الزمنية التي لم تكن قد ظهرت فيها المادة المستقرة بعد. بعبارة أخرى، يتم تطبيق ذلك على فترة زمنية، عندما لم يكن أي شيء قد وُجد بعد، بمساعدة نوع الزمن الذي كان يمكن قياسه.

بينما وجهة النظر الحالية حول كيفية ظهور الكون التي يتم اعتبارها غالبًا بَرّاقة جدًا، فإنه تنقصها المشاعر والسحر والإثارة التي يتصف بها الكثير جدًا من القصص التقليدية عن الأصل. وتبعًا للعلوم الحديثة، لعل الكون المبكر كان خاليًا من الحياة، بالفعل، أكثر من كونه بسيطًا.

الانفجار الكبير: دون تعقيد

تبعًا لوجهة النظر العلمية الحالية، تمامًا في لحظة ظهور كوننا نفسها، تم حزم كمية هائلة من الطاقة والمادة غير المتميزة معًا عن قرب بشكل لا محدود. وكان هذا هو النظام الأساسي والبسيط أكثر من غيره الذي يمكن تخيله، حيث كانت المادة والطاقة متشابهتين ولم يكن هناك أي نوع من التعقد. ومن هذه اللحظة المتطرِّفة، بدأ الكون يتمدد بسرعة تحت تأثير قوة مجهولة، استمرت في العمل منذ ذلك الحين. وأصبح هذا الحادث البدئي يُعرف باعتباره «الانفجار الكبير»، وهو مصطلح صاغه عالم الفلك

البريطاني فريد هويل Fred Hoyle خلال لقاء مع بي.بي. سي. في مارس 1949. استخدم هويل هذا المصطلح بطريقة ساخرة بعض الشيء. ورغم أن فكرة الانفجار الكبير تبدو كما لو أنها أتت مباشرة من قصة خلق أكثر تراثية، من المفترض أن المجتمع الفلكي يحتضنها الآن باعتبارها التفسير الراجح أكثر من غيره لكيفية ظهور الكون.

لماذا يفكر العلماء الآن بهذه الطريقة؟

هناك ثلاث مجموعات مستقلة من بيانات الرصد يتم تفسيرها باعتبارها دليلًا على سيناريو الانفجار الكبير. تتكون مجموعة البيانات الأولى الأكثر أهمية من صور أجزاء من السماء يُظن بأنها توضح المجرات البعيدة. ورغم وجود استثناءات هائلة يتم تفسيرها بأنها انحرافات محلية أو إقليمية، يعتَبِر النمط العام أنه كلما كانت هذه الصور أصغر وأكثر خفوتًا -وبالتالي كانت المسافة التي قطعها الضوء قبل وصوله إلينا أبعد- كلما زاد ظهور ما يطلق عليه الانحراف ناحية الأحمر. النقطة الأساسية هي أن هذا الضوء يحتوي على نمط إشعاع انبعث من عناصر كيميائية معينة، مع ذلك تظهر على هذا النمط زيادة في أطوال الموجات أكثر من تلك التي تم رصدها على الأرض في الحالات المستقرة. وهذا الانحراف نحو أطوال الموجات الأطول (وبالتالي نحو الضوء الأحمر) تم تفسيره باعتباره ظاهرة دوبلر في السماء. تنتج ظاهرة دوبلر من حقيقة أن طول موجة الضوء، أو الصوت، المنبعثة من مصدر متحرك يبتعد عنا يبدو وقد أصبح أطول. وبذلك، فإن الانحراف إلى الأحمر بالنسبة لضوء المجرة يشير إلى أن هذه المجرات، في الوقت الذي تم خلاله بث هذا الإشعاع، كانت تتراجع بعيدًا عنا. وكلما زادت السرعة التي كانت هذه الأجرام الكونية تتحرك بها مبتعدة عنًا عن وقت انبعاث الضوء، كلما زاد الانحراف نحو الأحمر.

تم العثور على ارتباط شديد بين إضاءات الصور المجرية هذه وانحرافاتها نحو الأحمر: الصور المجرية الأصغر والأكثر خفوتًا تكون أيضًا أكثر انحرافًا نحو الأحمر. وتم تفسير ذلك باعتباره دليلًا قويًا على فكرة أن كل هذه المجرات كانت تتحرك مبتعدة ليس فقط عنا ولكن أيضًا عن كل شيء آخر. وهذا لأن علماء الفلك يستخدمون الصور المَجَرّية لتحديد المكان في الكون، ويبدو أن النتيجة الحتمية هي أن الكون في مجمله، في حدود علمنا، يتمدد. لو أن الأمر كذلك، فلا بد أنه خلال المراحل المبكّرة في تاريخ الكون كان الكون أصغر. ولأننا لم نرصد أية بيانات توضح أن التمدد الكوني قد توقف

في أي وقت أو حتى انعكس، يشير علماء الكون أنهم مضطرون لقبول فكرة أنه في البداية المبكرة للتاريخ الكوني، كانت المادة والطاقة في حزم متقاربة بقدر الإمكان. وفي لحظة معينة، لعل ما يطلق عليه المفردة قد انفجر. لعل هذه اللحظة، الانفجار الكبير، كانت بداية الزمن والمكان اللذين نعرفهما في الوقت الراهن. بجمع تقديرات المسافات التي قطعها الضوء المنبعث من هذه المجرات قبل وصوله إلينا إلى انحرافاتها نحو الأحمر، من الممكن تقدير معدل تمدد الكون، وبالتالي العمر الحالي للكون. وتبعًا لأكثر التقديرات حداثة، لعل عمر الكون الآن نحو 13,7 مليار سنة.

تتكوّن مجموعة البيانات الثانية مما يُعرف بأنه خلفية الإشعاع الكوني، التي يمكن رصدها عبر كل السماء. وتم تفسيرها باعتبارها دليلًا يعود إلى الفترة الزمنية التي كان عمر الكون عندها نحو 400000 سنة. في ذلك الوقت، لعل الكون كان قد أصبح متعادلًا، لأن أغلب الجسيمات المشحونة كهربائيًا، مثل البروتونات موجبة الشحنة ونوى الهليوم، بالإضافة إلى الإلكترونات المشحونة سلبيًا، كانت متحدة لتكوين الذرات المتعادلة. ونتيجة لذلك، فإنها كانت تلغي شحنات بعضها بعضًا. ولذلك لعل الضوء بدأ في الانتقال خلال الكون المبكر بشكل لا يعوقه شيء، لأنه لم يعد يتبعثر بواسطة الجسيمات الكثيرة جدًا المشحونة. وكانت درجة حرارة الكون المبكر خلال هذا التحول نحو 3000 درجة كلفن(*). ونتج عن ذلك بالأحرى إشعاع متماثل له درجة الحرارة نفسها. ونتيجة للتمدد التالي للكون، هبطت درجة حرارة هذا الإشعاع اليوم إلى بضع درجات كلفن. وتناظر هذه الدرجة إلى حد كبير درجة الحرارة المرصودة وهي نحو 2.7 كلفن. رغم أن مجموعة البيانات هذه لا تشير بشكل مباشر إلى حادث الانفجار الكبير، فإنها تناسب السيناريو المقترح بشكل جيد.

تتكوَّن المجموعة الثالثة من البيانات المرصودة من قياسات لتركيب المادة في الكون. وقاد ذلك علماء الفلك إلى استنتاج أن نحو 70 في المائة من كل المادة المضيئة تتكون من الهيدروجين، بينما يأتي نحو 27 في المائة من الهليوم. وكل العناصر الكيميائية الأخرى، بما في ذلك تلك التي نتكوَّن منها نحن أنفسنا، تصل فقط إلى نسبة مئوية قليلة من المادة في مجملها.

(*) نسبة إلى الفيزيائي البريطاني لورد كلفن، والكلفن وحدة لقياس الحرارة، الصفر فيها يساوي 273- درجة مئوية. سماه كلفن الصفر المطلق، وهي درجة الحرارة التي تتوقف فيها الجزيئات عن الحركة.

هذه النسب المئوية تتفق عن قرب مع نتائج الحسابات النظرية لما حدث في كون بالغ السخونة ومتطرف الكثافة كان يتمدد بسرعة. بعبارة أخرى، تتنبأ نظرية حديثة بأن الكون المبكر قد أنتج نسبًا مئوية من الهيدروجين والهليوم تم استنتاجها من بيانات الرصد. خلال العقود الماضية، تم استغلال مجموعات البيانات هذه وتحسينها. وقد أدى ذلك إلى حكاية تاريخية عن كوننا يتم عرضها لاحقًا، حيث الكون «المرصود» بدأ وجوده منذ نحو 13,7 مليار سنة وكان يتمدّد منذ ذلك الحين[4].

قضايا حديثة تتعلق بسيناريو الانفجار الكبير

بينما تقدِّم مجموعات البيانات الثلاث الرئيسية المذكورة سابقًا دليلًا مقبولًا على صحة سيناريو الانفجار الكبير، أدت مجموعتا بيانات رصد حديثة إلى تعقيدات جدية.

تتعلق القضية الأولى بحركات المجرات. إذا كانت نظريتنا الحالية عن الجاذبية صحيحة، يجب أن تكون هناك كمية كبيرة إضافية من المادة في هذه المجرات أكبر مما نقيسه بالفعل بواسطة الضوء الذي نرصده، لأن النجوم في هذه المجرات، والمجرات نفسها، تبدو متحركة بطرق لا يمكن إعادتها فقط إلى الجاذبية الناجمة عن المادة المضيئة. وقد أدى ذلك إلى فرضية المادة المظلمة، التي قد تمثل بالفعل أغلب المادة في الكون. قد تقوم المادة المظلمة بالتفاعل فقط بسبب تأثيراتها التجاذبية، أو لا تتفاعل من جانب آخر، أو تتفاعل بشكل ضعيف جدًا، مع نوع المادة العادية التي نألفها. نتيجة لذلك، قد تشكل كل المادة في الكون، بالفعل، جزءًا صغيرًا فقط من كل المادة. ومع ذلك، لم ينتج عن أي مسعى طويل وكثيف بعد دليلًا مقنعًا عن وجود المادة المظلمة. ونتيجة لذلك، بدأت قلة من العلماء في وضع النظرية الراسخة عن الجاذبية موضع التساؤل. قد يتضح أن الحاجة إلى مادة مظلمة يمكن التخلي عنها بجعل هذه النظرية ملائمة. ورغم ذلك، لا يرغب أغلب علماء الفيزياء في تغييرها، لأنه خلال القرون الماضية تم التوصل إلى أن نظرية نيوتن عن الجاذبية، وأيضًا تفسير آينشتاين النسبَوي لها، يفسّران الكثير جدًا من الملاحظات بشكل جيد جدًا[5].

المجموعة الثانية من بيانات الرصد التي سبَّبت مشاكل نظرية خطيرة لعلماء الفلك تتكوَّن من الضوء الذي انبعث من نوع خاص من انفجارات نجم عملاق في المجرات الأخرى، وهو ما يطلق عليه النوع 1أ للسوبرنوفا. ويُعتقد بأن هذه الانفجارات النَّجْمية الهائلة تنتج كميات معروفة من الضوء. ومن ثم فإن قياس شدة الضوء هذه يسمح لنا

بتقدير المسافة التي قطعتها قبل الوصول إلينا، مع العلم بأن الغبار عبر الطريق لم يغير من شدتها الضوئية أكثر مما حسبه علماء الفلك حتى الآن. والنتيجة المفاجئة هي أنه بجمع الانحرافات نحو الأحمر لهذه الانفجارات، مع شدتها الضوئية، يبدو كما لو أن الكون قد بدأ التمدد بشكل أسرع منذ 5 مليارات سنة على الأقل، وربما أقدم من ذلك بكثير. ويتناقض ذلك مع ما يمكن توقعه، أي أن إجمالي قوى الجاذبية الناتجة عن كل المادة قد يؤدي إلى تباطؤ التمدد. رغم عدم وجود يقين حتى الآن حول صحة بيانات الرصد، يفسرها الكثير من علماء الكون بمصطلحات قوة جديدة – وهي مجهولة حتى الآن – بدأت تسهم بدورها منذ 5 مليارات سنة على الأقل. ولأن العلماء لا يعرفون أي شيء آخر حول هذه القوة، يُطلق عليها «الطاقة المظلمة»[6].

ونتيجة احتمال وجود كل من المادة المظلمة والطاقة المظلمة، قد تمثل المادة العادية القابلة للرصد والطاقة المعروفة معًا جزء صغيرًا من كل المادة والطاقة في الكون القابل للرصد. برغم ذلك، يبدو أن هذه الأنواع المألوفة من المادة والطاقة قد أنتجت معظم التعقد الذي يمكننا رصده حاليًا. ومن ثم، سوف تعالج حكايتنا عن التاريخ الكبير غالبًا مع المادة والطاقة العاديتين. ويقينًا، لعل المادة المظلمة قد أسهمت في تشكيل المجرات، بينما دفعتها الطاقة المظلمة بعيدًا لتتباعد عن بعضها. ولعل هذا قد أثّرَ على التاريخ الكبير، بما في ذلك تاريخ البشر. ولكن إضافة إلى ذلك، يبدو في الحاضر أن المادة العادية والأنواع المعروفة من الطاقة كانا اللاعبين الرئيسيين في تحديد ظهور واندثار التعقّد في الكون.

عصر الإشعاع: ظهور التعقد على مقاييس أصغر

في البدء، عند لحظة الانفجار الكبير، كانت هناك فقط مادة وطاقة غير متميزتين. لكن بمجرد بدء الكون في التمدد والبرودة، حدث أول تميُّز في الإشعاع الكهرومغناطيسي من جانب وأنواع مقتضبة الوجود من المادة من جانب آخر. في تلك الفترة المبكرة من تاريخ الكون ساد الإشعاع الكهرومغناطيسي. وخلال ما يطلق عليه عصر الإشعاع ذلك، كان هناك إشعاع بالغ القوة مع الكثير جدًا من جسيمات المادة قصيرة العمر، التي انبعثت من الإشعاع فقط لكي تدمَّر بسرعة كل منها الآخر وتتحول من جديد إلى إشعاع. ولعل التحول من إشعاع إلى مادة وعلى العكس قد حدث تبعًا للصيغة الشهيرة $E=mc^2$، حيث الحرف E يشير إلى محتوي طاقة الإشعاع، والحرف m يمثل الكتلة،

بينما يشير الحرف c إلى سرعة الضوء في الفراغ. تلك كانت الفترة الوحيدة في تاريخ الكون التي وُجدت خلالها ظروف جولديلوكس التي سمحت بحدوث هذا التحول على مثل هذا المقياس الكبير. ونتيجة لهذه الظروف المتطرفة، كان الكون المبكر نظام تغير سريع لتعقُّد مادي بطيء جدًا ومتلاشٍ بسرعة[7].

أدى تمدد الكون إلى انخفاض سريع في كل من درجة الحرارة والضغط بمرور الزمن. وأنتج ذلك ظروف جولديلوكس لأول ظهور للمادة. واتسمت الدقائق الأربعُ الأولى، بشكل خاص، إلى حد كبير بأكبر وأسرع تغير حدث في أي وقت في التاريخ الكبير، لأنه خلال هذه الفترة الزمنية القصيرة ظهرت كل الصفات الأساسية للكون[8]. ويتضمن ذلك، بادئ ذي بدء، ظهور القوى الطبيعية الأساسية الثلاث، القوة الشديدة (النووية)، والقوة الكهرومغناطيسية، والجاذبية، بالإضافة إلى الثوابت الطبيعية المصاحبة لهذه القوى.

ينتج عن القوة الشديدة تأثيرٌ بالغ القوة عبر مسافات بالغة الصغر. وتؤثر على لبنات بناء رئيسية للنواة الكيميائية، البروتونات والنيوترونات، بجعلها تنجذب إلى بعضها البعض. والكهرومغناطيسية، على العكس، أقل شدة، لكنها تعمل عبر مسافات أطول. إنها تدفع الجُسَيْمات بالشحنات نفسها حتى تنفصل، بينما تنجذب الجسيمات ذات الشحنات المتضادة إلى بعضها بعضًا. ونتيجة لذلك، تميل الكهرومغناطيسية إلى معادلة هذه الاختلافات وإنتاج مادة متعادلة. وبالتالي، لا يمكن للتركيزات الكبيرة من البروتونات المشحونة إيجابيًا أن تتراكم. ويحدُّ ذلك كثيرًا من المسافة التي يمكن خلالها للكهرومغناطيسية أن تقوم بتأثيرها.

في النوى الكيميائية، يوجد توازن بين القوة الشديدة والكهرومغناطيسية. بينما تميل الكهرومغناطيسية إلى دفع البروتونات موجبة الشحنة بعيدًا عن بعضها، تجعلها القوة الشديدة تنجذب إلى بعضها البعض. ليست لدى النيوترونات شحنة ومن ثم فإنها لا تتأثر بالكهرومغناطيسية. كلما زاد ما تحتوي عليه النواة من بروتونات، كلما زاد ما تحتاج إليه من نيوترونات لتجعل النواة ملتصقة معًا بفعل القوة الشديدة. يضع ذلك حدودًا واضحة على الحجم الذي يمكن للنوى الكيميائية أن تصل إليه. والعنصر الكيميائي الذي له أصغر نواة هو الهيدروجين (1 بروتون)، بينما لليورانيوم أعلى نواة متَّزنة موجودة طبيعيًا (92 بروتون و146 نيوترون).

الجاذبية قوة أكثر ضعفًا من القوة الشديدة أو الكهرومغناطيسية، بينما تعمل عبر مسافات كبيرة. وتحت تأثيرها، تتجاذب كل الجسيمات التي لها كتلة. وبعكس الكهرومغناطيسية، التي تميل إلى إنتاج ترتيبات محايدة تحدُّ من تأثيرها عبر المسافات الكبيرة، يمكن للجاذبية أن تنتج تركيزات كبيرة من المادة، مثل النجوم، والكواكب، والثقوب السوداء، والمجرات، التي تمارس تأثيرات قوية عبر مسافات كبيرة.

نتيجة لكل هذه التأثيرات، تشكل القوة الشديدة والكهرومغناطسية تعقدًا على المقياس الصغير والمتوسط (كل شيء حتى حجم الصخور التي يصل قطرها إلى بضع كيلومترات)، بينما تشكل الجاذبية كل شيء ذا كتلة أكبر (الكواكب، والنجوم والمجرات). في كل هذه البنى الأكبر، تظل القوتان الأخريان تؤثِّران على مقاييس أصغر.

في الكون المبكر، بالإضافة إلى هذه القوى الثلاث الطبيعية الأساسية، ظهرت الجُسَيْمات الأولية خلال الدقائق الأولى في التاريخ الكوني. أصبحت هذه الجسيمات بعد ذلك لبنات بناء كل التعقد الإضافي الذي وُجد في الكون. ولأنه ليس من الواضح متى ظهرت المادة المظلمة، فإن حكايتنا عن ظهور المادة تتركز على تشكّل المادة العادية.

أول جسيمات نووية متَّزنة ظهرت من الإشعاع كانت ما يطلق عليه الباريونات، وبخاصة البروتونات والنيوترونات. وهذه الجسيمات الأكثر ثقلًا نسبيًا هي لبنات البناء الرئيسية للنوى الذرية. ما بين 10^{-35} و10^{-4} ثانية بعد الانفجار الكبير، أصبح الكون باردًا بما يكفي لجعل ذلك ممكنًا. وفقط خلال هذه الفترة الزمنية بالغة القصر وُجدت ظروف جولديلوكس التي فضّلت ظهور الباريونات. وتتضمن هذه الشروط تقلّصًا في كثافة الكون المبكر، التي لعلها قد هبطت من 10^{75} كجم/ م^3 إلى 10^{16} كجم/ م^3، وانخفاضًا في درجة الحرارة، التي لعلها انخفضت من 10^{27} كلفن إلى 10^{12} كلفن. ولأنه خلال هذه الفترة الزمنية تضاءلت ظروف جولديلوكس لإعادة تحول المادة إلى طاقة بسرعة، تجمدت أغلب البريونات ولم تعد إلى طاقة[9].

في هذا السيناريو لا يوجد تعقُّد واحد رئيسي. عندما انبثقت المادة عن الطاقة، فعلت ذلك على هيئة نوعين: من جانب المادة العادية التي نتكون منها نحن جميعًا، ومن جانب آخر المادة المضادة، وهي بالضبط صورة المرآة للمادة بالنسبة للشحنة

الكهربائية والخواص المغناطيسية، بينما تكون كتلتها هي نفسها. تكون البروتونات العادية، مثلًا مشحونة إيجابيًا بينما يكون للبروتونات المضادة شحنة سالبة، ورغم ذلك تكون لكلتيهما الكتلة نفسها. وفي كل مرة يتقابل خلالها جسيم المادة وجسيم المادة المضادة، فإنهما يدمِّران ويبيدان كل منهما الآخر ويتحولان من جديد إلى إشعاع.

يطرح ذلك السؤال العميق حول سبب أن المادة والمادة المضادة التي تكوّنت لا يبيدان، بعد ظهورهما، كل منهما الآخر ويتحولان من جديد إلى طاقة. لو كان ذلك قد حدث، لما كانت هناك أي مادة باقية في الكون إنّما إشعاع فقط. لم يتم حل هذه القضية بعد بشكل كاف. وتبعًا لوجهة النظر التي تبنّاها معظم مجتمع الفيزياء الفلكية، تشكل خلال ظهور المادة والمادة المضادة مزيد بالغ الضآلة من المادة المتكونة، أي نحو جسيم واحد إضافي من المادة العادية مقابل كل 10 مليارات زوج من جسيمات المادة والمادة المضادة. وبينما أبادت معظم المادة والمادة المضادة بعضها بعضًا في ما بعد وتحولت من جديد إلى طاقة، قام هذا الفائض الضئيل من المادة العادية بتشكيل كل المادة العادية الموجودة حاليًا في الكون.

عند نحو 10^{-4} ثانية بعد الانفجار الكبير، أصبحت الظروف مناسبة لتجمُّد أغلب اللبتونات الأخَفّ، والمعروفة أكثر بالإلكترونات بالإضافة إلى النيوترونات بالغة الضآلة (النيوترونات الصغيرة). في المادة العادية، تحيط الإلكترونات بالنوى الكيميائية وتسهم في جعلها محايدة. وتشارك الإلكترونات أيضًا في تكوين الروابط الكيميائية التي تربط نوى العناصر الكيميائية. وعندما تفعل ذلك، فإنها تساعد على المحافظة على الجزيئات معًا. ونتيجة لذلك، تلعب الإلكترونات دورًا بالغ الأهمية في ظهور تعقد أكبر. بينما تلعب النيوترونات دورًا في بعض التفاعلات النووية، من الأصعب في أي وقت بالإضافة إلى ذلك أن تتفاعل مع المادة العادية. وبالتالي، يكون دورها في ظهور تعقد أكبر محدودًا للغاية.

عملية إقصاء اللبتونات كان مشابهًا جدًا لعملية الباريونات واستمر نحو 100 ثانية. خلال هذه الفترة الزمنية، هبطت درجة الحرارة من 10^{12} إلى 10^{9} كلفن، بينما انخفضت الكثافة من 10^{16} كجم/ م^3 إلى 10^{4} كجم/ م^3. ولعل عملية إبادة مماثلة قد تمَّت بين الجسيمات والجسيمات المضادة، تاركة فقط بقايا قليلة من اللبتونات العادية.

نتيجة لذلك، بعد نحو 100 ثانية من التاريخ الكوني لعل المادة العادية فقط هي

التي بقيت، والتي كانت تسبح في محيط من الإشعاع الكهرومغناطيسي. وكانت المادة الموجودة تتكون في أغلبها من البروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات وجسيمات النيوترينو. بينما تشكّلت البروتونات والإلكترونات بأعداد متساوية، تجاوزت البروتونات النيوترونات بنسبة نحو 5: 1. وليس من المعروف ما إذا كانت المادة المظلمة قد ظهرت في ذلك الوقت.

الفترة التالية، بين 100 و1000 ثانية بعد الانفجار الكبير، نتجت ظروف جولديلوكس ساندت ظهور أول نوى كيميائية أكثر ثقلًا، والمعروفة أكثر بالهليوم وبعض الديوتريوم والليثيوم أيضًا. وتشكّلت هذه النوى من بروتونات ونيوترونات تحت تأثير القوة الشديدة. وهذه العملية تعرف بأنها التركيب النووي البدائي. خلال هذه الفترة الزمنية، انخفضت درجة الحرارة من 10^9 كلفن إلى نحو 3×10^8 كلفن. ومن جديد تلك قصة المادة والطاقة وهما يتفاعلان تحت تأثير ظروف جولديلوكس خاصة جدًا. وبشكل خاص حدثت هذه العملية بسرعة خلال الدقائق القليلة الأولى واستهلكت كل النيوترونات الحرة المتبقية، التي كان قد تم امتصاصها في نوى الهليوم.

بينما ظهرت خلال هذه الفترة كمية كبيرة من الهليوم وكميات محدودة جدًا من النوى الأكثر ثقلًا، ظل معظم البروتونات حرًا وغير مقيَّد. ولأن البروتونات هي نوى الهيدروجين، ظل هذا العنصر وفيرًا في الكون. وفي الوقت الراهن، يمثل نحو 70 في المائة من كل المادة المستقرة القابلة للرصد، بينما يصل الهليوم إلى نحو 27 في المائة. وسبب عدم ظهور كميات جديرة بالاعتبار من العناصر الكيميائية الأكثر ثقلًا خلال هذه المرحلة من تاريخ الكون يمكن العثور عليه في المعدل العالي لتمدد الكون. وهذا يعني أن أحوال جولديلوكس لدرجات الحرارة والضغط المطلوبَيْن لطبخ العناصر الكيميائية الأكثر ثقلًا لم يكن سائدًا لمدة طويلة. ولو أن الكون المبكِّر قد تمدَّد بمعدَّل أبطأ بكثير، لكانت كل المادة تقريبًا قد تحولت إلى حديد، العنصر الكيميائي الأكثر استقرارًا. ولم يكن هذا الوضع مفضَّلًا لظهور الحياة والثقافة. من الواضح أن معدل تمدد الكون كما حدث كان هو الأمر المناسب تمامًا لبقية تطور الكون لكي يحدث بالطريقة التي حدث بها.

ما الذي نستطيع قوله حول الفوضى، أو الإنتروبيا، خلال عصر الإشعاع؟ لأن الإشعاع بالغ القوة قد حافظ على كل المادة التي ظهرت في حالة فوضى كبيرة، كانت الإنتروبيا عندئذ في حالة، أو قريبة من حالة، قصوى بالنسبة للظروف السائدة. لو أن

الإنتروبيا بقيت في حالتها القصوى خلال بقية التاريخ الكوني، لما كان أي شيء قد حدث أكثر من ذلك. ورغم ذلك استمر الكون في التمدد بمرور الزمن، بينما انفصل على هيئة مناطق ذات تركيزات عالية من المادة، المجرات، والتي انفصلت بالفضاء المجَرّي المتنامي. خلال هذه العملية، ظهرت منطقة هائلة من الفضاء الخالي استطاع تخزين كميات متزايدة من الإنتروبيا. لو لم تظهر خلفية هذا المخزون للإنتروبيا، لما وُجدت أبدًا أية أنواع من التعقد الأكبر[10].

باختصار، كان عصر الإشعاع هو الفترة الزمنية التي ظهر خلالها أغلب التعقد المادي عند أصغر المقاييس من الطاقة تحت تأثير التغيُّر السريع في ظروف جولديلوكس. وكانت منحدرات جولديلوكس التي فضَّلت ظهور أول باريونات ومن ثم لبتونات قصيرة العمر ومقيَّدة إلى حد كبير. ومع ذلك، تطلَّب الوجود المستمر لهذه الجسيمات ظروف جولديلوكس مختلفة تمامًا، والتي لعلها سيطرت بالفعل في أغلب أجزاء الكون خلال أغلب الوقت بعد ذلك. نتيجة لذلك، فإن أغلب هذه الجزيئات استمر في الوجود حتى الوقت الراهن. وكان منحدر جولديلوكس الذي يفضِّل صهر النوى الكيميائية الأكثر ثقلًا قصير العمر أيضًا. ورغم ذلك، كما سنرى لاحقًا، ظهرت في التاريخ الكوني التالي، ظروف جولديلوكس مماثلة ذات عمر أطول في النجوم. والاختلاف الأساسي هو أنه خلال المرحلة المبكرة من تاريخ الكون كان في استطاعة ظروف جولديلوكس هذه، السائدة في كل مكان في الكون الذي كان لا يزال متجانسًا إلى حد كبير، أن توجد محليًا فقط خلال الفترات اللاحقة، وهي ما يطلق عليها النجوم التي كانت محاطة بفراغ خالٍ في الغالب.

ويطلق إريك جانتش على ظهور الجسيمات الأصغر «التطور الصغير micro-evolution». وبتوافر لبنات البناء الأساسية للتعقد، مهَّد هذا النظام المتلاشي المتغيِّر الطريق إلى ظهور محتمل لكل التعقد التالي على المقياس الأكبر، والذي أطلق عليه جانتش معًا «التطور الكبير macro-evolution». وبمرور الوقت، كان التطور الكوني الصغير والكبير يؤثران على بعضهما في عملية أطلق عليها جانتش «التطور المتشارك co-evolution» للكون[11].

عصر المادة: ظهور التعقد عند المستوى الذَرّي والجُزَيْئي

أدى التمدد المستمر إلى ما لانهاية إلى تخفيف تركيز كل من المادة والإشعاع

الكهرومغناطيسي. وفي الوقت نفسه، زاد من أطوال موجات الفوتونات، التي أصبحت أطول نتيجة لذلك. ولأن أطوال الموجات الأطول تحتوي على طاقة أقل من أطوال الموجات الأقصر، هبط محتوى طاقة الإشعاع في كمية معينة من الفضاء بشكل أسرع بكثير من محتوى طاقة المادة في المنطقة[12] نفسها. ومن ثم، عند نقطة زمنية محددة، أصبح محتوى طاقة المادة بشكل حتمي أكثر من محتوى طاقة الإشعاع في حجم معين. من هذه النقطة وما بعدها، لم يعد الإشعاع سائدًا. وأشار هذا التغير المذهل إلى انتقال من عصر الإشعاع إلى عصر المادة. تبعًا لتقديرات حديثة، لعل هذا الانتقال قد حدث بعد نحو 50000 سنة من الانفجار الكبير عند درجة حرارة 16000 كلفن[13]. منذ ذلك الوقت، هيمنت المادة على الكون، بينما جعل تدفق الطاقة خلال المادة من الممكن ظهور تعقد أكبر. ومع ذلك لعل الأمر احتاج إلى وقت طويل، قبل ظهور ظروف جولديلوكس التي سمحت بحدوث ذلك.

ونتيجة للتمدد الذي لا يَلين، واصلت درجة حرارة الكون المبكر الهبوط. بعد 1000 عام من التاريخ الكوني، كان متوسط درجة الحرارة قد هبط إلى نحو 60000 كالفن، بينما أصبحت درجة الحرارة بعد مليون سنة منخفضة إلى حد 1000 كلفن فقط. وهنا على الأرض، سوف تنفصل الذرات كلها إلى نواتها وإلكتروناتها التي تمثل عناصرها عند نحو 4000 كلفن، بينما ستعود إلى التوحد عند نحو 3000 كلفن وما تحت ذلك. من الواضح، أنه في موقع ما بين 1000 ومليون سنة بعد الانفجار الكبير، هبطت درجة حرارة الكون المبكر إلى مستوى جولدلوكس سمح للنوى الأولية، وهي في أغلبها نوى الهيدروجين والهليوم المشحونة إيجابيًا، لتتحد مع الإلكترونات المشحونة سلبيًا لتكوين أول النوى المتعادلة، وبعد القليل من الوقت أيضًا، تكوين أول جزيئات صغيرة متعادلة. وتبعًا لآخر التقديرات، لعل هذا قد حدث عند نحو 400000 سنة بعد الانفجار الكبير. في ذلك الوقت، لعل درجة حرارة الكون قد هبطت إلى 3000 كلفن. وتلك كانت الفترة الزمنية التي أصبحت عندها القوة الكهرومغناطيسية أكثر أهمية من درجة حرارة الكون في تكوين المادة. ولأن الكهرومغناطيسية تميل إلى إنتاج مجموعات متعادلة من الجسيمات المشحونة إيجابيًا وسلبيًا، يصبح مجمل الكون متعادلًا فجأة.

تمت الإشارة سابقًا إلى أن الإشعاع أقل تأثرًا بكثير بالجسيمات المتعادلة مقارنة بالجسيمات المشحونة. وبفضل تحييد الكون، لم يعد الإشعاع معاقًا وبدأ في الانتقال

بحرية. بعبارة أخرى، أصبح الكون شفافًا فجأة. وتعود خلفية الإشعاع الكوني المذكورة سابقًا إلى هذا التغير الضخم. ومما يثير البهجة لدى مجتمع علماء الفلك، أنه يبرز عن خلفية الإشعاع الكوني ما يطلق عليه منحنى الجسم الأسود المثالي تقريبًا، والذي يتم تفسيره باعتباره توازنًا حراريًا مثاليًا تقريبًا بين المادة والإشعاع في وقت ظهوره[14]. وهذا يعني أنه عند نحو 400000 سنة بعد الانفجار الكبيرة كان الكون لا يزال متجانسًا إلى حدٍّ كبير وأن الاختلافات الكبيرة في تركيب وكثافة المادة والطاقة لم تكن قد ظهرت بعد. والاختلافات بالغة الصغر التي ظهرت في خلفية الإشعاع الكوني تعتبر تحت البحث في الوقت الراهن. ويتم تفسيرها باعتبارها تموّجات لكثافة المادة والطاقة في الكون المبكر.

عند هذه الفترة الزمنية، كانت المادة الأكثر استقرارًا تتكون من الهيدروجين، نحو 70 في المائة، بينما كان 27 في المائة على هيئة هليوم. وبما يتعارض مع الهيدروجين، يعتبر الهليوم خامدًا كيميائيًا، وهو ما يعني أنه لا يمكنه تكوين روابط مع الذرات الأخرى. ومع ذلك، يمكن لذرات الهيدروجين تكوين روابط فردية مع الكثير جدًا من الذرات الأخرى. ورغم ذلك فإن الذرات المتاحة فقط التي يمكنها فعل ذلك افتراضيًا في ذلك الوقت كانت ذرات الهيدروجين الأخرى. مع مرور الزمن، نتجت عن ذلك زيادة في جزيئات الهيدروجين، وكل منها يتكوّن من ذرّتَيْ هيدروجين مترابطتين بشكل متبادل. ولقد ظهرت أيضًا كميات قليلة من العناصر الخفيفة المتفاعلة الأخرى. ورغم ذلك لم يؤدِّ ذلك إلى وجود مجموعات كيميائية كثيرة جدًا، لأن هذه العناصر الكيميائية البسيطة عاجزة عن تكوين جزيئات معقدة. ونتيجة لذلك، كانت احتمالات التعقد الجزيئي الأكبر في الكون المبكر محدودة جدًا.

تشكيل المجرة: ظهور التعقد على مقاييس أكبر

بين 700 مليون و2 مليار سنة بعد الانفجار الكبير، تكوَّنت المجرَّات من المواد البدائية التي كانت قد ظهرت من قبل. وخلال هذه الفترة الزمنية فقط كانت تسود ظروف جولديلوكس التي تفضِّل تشكيل المجرَّة. ومع ذلك، استمر منذ ذلك الزمن وجود المجرات. من الواضح أن ظروف جولديلوكس لاستمرار وجود المجرات كانت أقل تقيّدًا بكثير مما احتاج إليه ظهورها.

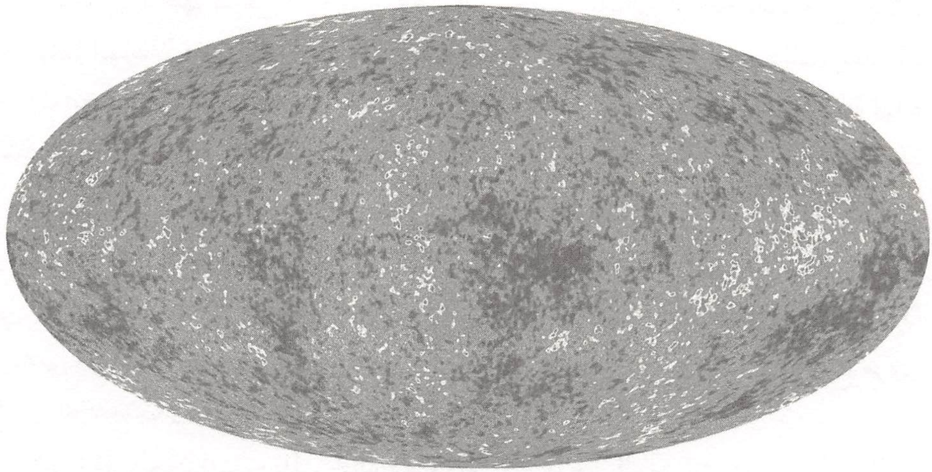
ظهرت كل المجرات من المادة البدائية، وكانت في أغلبها من الهيدروجين والهليوم. وتحت تأثير الجاذبية، تجمّعت جسيمات المادة هذه لتكوين بُنى أكبر. ومن

ثم، يمكن النظر إلى ظهور المجرات باعتباره عملية تبدأ خلالها المادة في التكتل مع بعضها بعضًا، وبذلك تنتج مناطق صغيرة نسبيًا ذات تركيزات مادة كبيرة تتوزّع في مناطق كبيرة يوجد فيها القليل جدًا من المادة. وأنتج ذلك منحدرات مادة هائلة في الفضاء. ولم يستطِع الإشعاع الموجود، على العكس، أن يتجمّع مع بعضه بعضًا بطرق مماثلة، لأنه لا توجد قوة معروفة يمكنها جعل الفوتونات تتجمع معًا[15]. ونتيجة لذلك، استمر الإشعاع الكَوْني يخف خلال التمدد التالي للكون، بينما تخثرت المادة في المجرات. لو أن المادة كانت قد خفّت بطريقة مماثلة مثل الإشعاع الكوني، لما كان قد ظهر أبدًا تعقد أكبر. وبذلك أعلنت فترة تشكيل المجرة عن تغير ضخم في الطريقة التي كان قد تم توزيع المادة والطاقة من خلالها في الكون. بينما حتى في ذلك الوقت كان الكون متجانسًا في أغلبه، أصبح فجأة مكانًا مليئًا بالكتل إلى حد كبير. ونتيجة لتمدد الكون باستمرار، أصبحت المجرات منفصلة بمناطق متزايدة من الفضاء الخالي في أغلبه بين النجوم.

رغم أن الآلية الدقيقة لتشكل النجوم ظلت أحد ألغاز تطوُّر الكون غير المحلولة، فإنه من المعتقد أن العملية العامة انبثقت خلال المسارات التالية. بعد أن أصبح الكون متعادلًا عند نحو 400000 سنة بعد الانفجار الكبير، أدى تمدد الكون دون توقف إلى المزيد من انخفاض درجة الحرارة ومستويات الإشعاع، بينما انخفضت كثافة المادة أيضًا. يُطلق على هذه الفترة الزمنية «العصر المظلم» والذي امتد عبر مئات الملايين من السنوات. كان الكون مظلمًا، لأن الكرة النارية الأصلية من الانفجار الكبير كانت قد أظلمت، بينما لم تكن النجوم قد وجدت بعد بحيث يمكنها بث أي ضوء. ومع ذلك، عند نحو 700 مليون سنة بعد الانفجار الكبير بدأ عدد كبير من المجرات في التشكُّل فجأة. من الواضح، إنه خلال ذلك الزمن ظهرت ظروف جولديلوكس تفضِّل تشكيل المجرّات. والسؤال المهم هو كيفية ظهور المجرات من الكون الأقدم والمتجانِس في أغلبه.

يُعتقد بأن المجرات قد تشكلت من تركيزات مادة ضخمة حدثت بشكل تلقائي. ومن ثم فإن السؤال الأساسي، يدور حول متى وكيف ظهرت تركيزات المادة هذه لأول مرة. أقدم بيانات رصد متاحة حول الكون تتكون من إشعاع الخلفية الكوني، والذي يعود إلى نحو 400000 سنة بعد الانفجار الكبير. ويوضح هذا الإشعاع نمط جسم أسود

مثاليًا تقريبًا، ويتم تفسيره بفكرة أنه في ذلك الزمن، كان معظم المادة والإشعاع مبعثرًا بالتساوي إلى حد كبير. ورغم ذلك أظهرت القياسات بالغة الدقة اختلافات بسيطة جدًا في الإشعاع الكوني عبر السماء. ويتم تفسير هذه الاختلافات، الموضَّحة في الشكل (3-1)، باعتبارها أول مادة متكتِّلة تحت تأثير الجاذبية. من الواضح، أنه عند نحو 400000 سنة بعد الانفجار الكبير كانت تركيزات المادة التي يمكن أن تصبح مجرات تظهر بالفعل.



الشكل (3-1): الاختلاف في خلفية الإشعاع الكوني يعطي دليلًا على أول ظهور لتعقد أكبر. (المصدر: ناسا).

لعل هذه الاختلافات في كثافة المادة جاءت نتيجة تأثيرات ظهرت بالمصادفة، ما أدى إلى توزيع مادة بالمصادفة عبر مجمل الكون. خلال مسار الزمن، التقت أعداد كبيرة من الجسيمات ببعضها والتصقت بالتالي ببعضها بعضًا. أدى ذلك إلى زيادة محلية في تركيزات المادة، والتي بدأت في بذل سحب جاذبي متنام على الجسيمات الأخرى. وكجزء من هذه العملية، ظهرت مناطق ذات تركيزات مادَّة أعلى، تفصل بينها مناطق خالية ببطء ولكن بشكل مؤكد من المادة. ونتيجة لذلك، ظهرت المجرات وفضاء ما بين النجوم باعتبارها جزء من العملية نفسها. لم تعد درجات الحرارة بالغة الارتفاع بحيث تنفصل نظم المادة المنبثقة هذه فجأة، بينما كانت كثافة المادة لا تزال كبيرة بما يكفي للسماح لكميات كبيرة من المادة بالالتصاق معًا.

المشكلة الكبيرة في هذا السيناريو هي أن قوة الجاذبية ليست شديدة بما يكفي لكي تجعل كل هذه المادة تتكثَّف على هيئة مجرَّات تحت تأثير الظروف السائدة. وهنا، لعل المادة المظلمة جاءت لإنقاذ الموقف. تبعًا لنموذج حديث، لعل المادة السوداء كانت قد بدأت بالفعل في التكتل معًا تمامًا قبل تحييد الكون. كان هذا التخثُّر المبكِّر للمادة المظلمة ممكنًا، لأنه لم يتفاعل، أو تفاعل فقط بضعف شديد، مع المادة العادية والإشعاع أكثر من تفاعله من خلال الجاذبية. أدى تكتل المادة المظلمة إلى ظهور بنى أكبر لم تكن قد ظهرت في أي وقت، وهي التي جذبت بالتالي المادة العادية من خلال جاذبيتها الهائلة، والتي التحمت على هيئة مجرَّات نتيجة لذلك. ومع ذلك، لعله قد حدث أيضًا أننا لم نفهم بعد بما يكفي قوة الجاذبية. من الممكن، أن إعادة صياغة لهذه النظرية قد تفسر ظهور المجرات بشكل كاف من دون استخدام مفهوم المادة المظلمة.

بالفعل خلال ظهورها، تراجع عدد كبير من المجرات عن بعضها بعضًا، كما تم رصده من انحرافات الأحمر لدوبلر التي نقيسها في الوقت الحالي. مع ذلك، حدث في بعض الحالات أن حافظت الجاذبية على المجرات قريبة من بعضها، بينما عدد لا يُحصى من المجرات قد يكون اندمج بالفعل في بعضه بعضًا. ورغم ذلك فمع مرور الزمن انخفضت وتيرة هذه التجمُّعات الكونية.

تدور كل المجرات. وتلك حالة ضرورية لكي توجد المجرات، لأنها لو لم تكن تدور، لسقطت كل المادة مباشرة في وسط المجرة منذ زمن بعيد، وبذلك تشكل كتلة واحدة من المادة بالغة الكثافة. وتدور المجرات نتيجة أن أي تحركات عشوائية على مقياس كبير للمادة التي تشكلت من خلالها المجرات تزايدت بشدة نتيجة تفاعل المادة في المجرات. ويحدث ذلك من الناحية الأساسية بطريقة المهارة نفسها التي تجعل راقص على الثلج يدور بسرعة أكبر فجأة عندما يحافظ على ذراعيه قريبين من جسده. لعل ظاهرة مماثلة قد تسببت لاحقًا في دورانات النجم والكواكب المركزية في المجموعات الشمسية المنبثقة.

كل المراكز المجَرّية تأوي كميات من المادة من الكثافة بحيث نعجز عن رصدها مباشرة، لأن جاذبيتها بالغة الكثافة بحيث إن أي شيء يسقط فيها، بما في ذلك الضوء، لا يمكنه الهرب بعد ذلك. تلك هي الثقوب السوداء الشهيرة. يمكن رصدها بفضل تأثيرات جاذبيتها القوية. من الواضح، أن اندماج المادة مع المجرات قد أدى إلى

عمليتين مختلفتين إلى حدٍّ كبير. إحداهما، من جانب، هي ظهور مليارات النجوم، بينما أدّى، من جانب آخر، إلى تشكل أعداد مجهولة من الثقوب السوداء. ويعتمد ذلك على كميات المادة التي اندمجت. لو أن هذه الكتل المندمجة كانت أصغر 200 مرة من كتلة شمسنا، فإنها تشكلت على هيئة نجوم، بينما لو كانت أكبر لنتجت عنها ثقوب سوداء[16]. في هذه النظم فائقة الكثافة، من المستحيل وجود أي تعقد أكبر، لأن القوى الهائلة للجاذبية الناتجة عن كل المادة مجتمعة يمكنها سحق أية بنى قد تتطور. برغم ذلك، لعل الثقوب السوداء قد لعبت دورًا مهمًا في ظهور التعقد في التطور الكوني بأن حافظت على المجرَّات معًا. وبذلك لعلها أسهمت في خلق ظروف جولديلوكس فضَّلت ظهور تعقد أكبر في مكان آخر في المجرة.

ورغم أنها غير مرئية، أنتج ما يُطلق عليه الثقوب السوداء فائقة الكثافة الموجودة في مركز المجرات مفرقعات نارية كونية مذهلة، وبشكل خاص خلال التاريخ المَجَرّي المبكر. في ذلك الوقت، أصبحت الكميات الضخمة من المادة التي تتدفَّق نحو هذه الثقوب السوداء بالغة الكثافة ذات طاقة كبيرة حتى إنها بثَّت إشعاعات بالغة الشدة، أكبر بنحو 100 إلى 1000 مرة الخرج الكلِّي لمجرتنا. في الوقت الراهن، يتم رصد هذه الإشعاعات على هيئة كوازرات (أجرام شبه نجمية) والتي، مع انحرافها نحو الأحمر، تعود غالبًا إلى مليارات كثيرة من السنوات، بينما قد يكون أغلب الكوازرات الحديثة قد حدث منذ 2 مليار سنة. تلك كانت، حسب كلمات إريك شايسون، «آخر سلالة ميتة»[17]. ونقص الكوازرات الأكثر حداثة يتم تفسيره بفكرة أنه بعد مليارات السنوات من التاريخ الكوني، فإن أغلب الغاز المجَرّي بالقرب من الثقوب السوداء المركزية تم رصده بواسطتها. بمجرد أن اقتربت هذه العملية من نهايتها، توقفت الكوازرات عن التوهّج[18]. كل المادة التي لم تتحول إلى ثقوب سوداء إما أنها اندمجت على هيئة نجوم أو ظلت متبخرة على هيئة غاز أو سُحُب غبار. نتيجة لكل هذه العمليات، ظهرت اختلافات كبيرة في تركيزات المادة عبر الفضاء في المجرات.

باختصار، بين 700 مليون و2 مليار سنة بعد الانفجار الكبير، ظهرت المجرات تحت تأثير الجاذبية من شذوذات حدثت تلقائيًا. فقط خلال هذه الفترة الزمنية كانت هناك ظروف جولديلوكس لتشكيل المجرة. وأدى ظهور المجرات إلى اختلاف بين المناطق التي كانت توجد فيها كمية كبيرة من المادة (المجرات) وفضاء ما بين

المجرات، والذي كان يصبح فارغًا بشكل متزايد. وأكّد التمدد الكوني الذي لا يلين على هذه الاختلافات وجعل أي مزيد من تشكيل المجرات مستحيلًا بعد نحو 2 مليار سنة من التاريخ الكوني. مع ذلك، منذ ذلك الوقت وجدت ظروف جولديلوكس فضّلت الوجود المستمر للمجرات.

كان التمييز بين مناطق فيها مادة وأخرى من دون مادة، بالغ الأهمية لبقية التاريخ الكوني، وبشكل أكثر أهمية خلق ذلك وعاء نفاية إنتروبيا هائل[19]. ولأنه خلال المرحلة المبكرة جدًا في تاريخ الكون كانت الإنتروبيا قد وصلت إلى قمتها بالنسبة للظروف السائدة، كانت هناك حاجة ملحّة إلى خلفية تخزين لكي يظهر تعقد أكبر. وكان الوضع هكذا لأن القانون الثاني للديناميكا الحرارية يفرض أن ظهور أي نَسَق محلي أو إقليمي يجب أن يصاحبه إنتاج المزيد من الفوضى في مكان آخر. والتمدد المستمر للكون، مع تكتل المادة على هيئة نجوم ومجرات، جعل من الممكن وجود فوضى في كلٍ من المجرات وفضاء ما بين المجرات. وخلق ذلك بالوعة إنتروبي هائلة باردة جدًا للإشعاع الناتج عن النجوم والكواكب. ومن دون بالوعة الإنتروبيا تلك، لما كان قد ظهر تعقّد أكبر، لأنه كان سيختنق بواسطة الحرارة التي أنتجها بشكل يتعذّر اجتنابه. بعبارة أخرى، كان ظهور وعاء نفاية الإنتروبيا مطلب جولديلوكس مطلقًا لظهور التعقد الأكبر.

رغم أن عملية تشكيل المجرة انتهى عند نحو 2 مليار سنة بعد الانفجار الكبير، كان تطور المجرات عملية جارية. بينما ظل الكون يتمدد، لعل بعض المجرات قد حافظت على حجمها الأصلي (وربما شكلها أيضًا إلى حد ما)، بينما تغيرت أخرى إلى حد كبير نتيجة تصادمات مع المجرات المجاورة، أو حتى ربما مع مجمل مجموعات المجرات. ونتيجة لهذه الأحداث، تتراوح كتل المجرات المرصودة من بضعة ملايين فقط أكبر من كتلة شمسنا إلى عدة تريليونات كتل شمسية، بينما تختلف أشكالها من المجرات الحلزونية إلى الكروية[20]. رغم أنه يُعتقد عادة بأن درب التبانة مجرة حلزونية متوسطة، رأى فريق فرنسي من علماء الفلك بقيادة فرانسوا هامر Francois Hammer في 2007 أن مجرتنا قد تكون بالفعل خاصة بالأحرى، لأنها لم تظهر مع مجرة أخرى خلال تاريخها بكامله. ولعل هذا الهدوء قد أتاح ظروف جولديلوكس أفضل لكي تتطور الحياة[21].

باختصار، نتيجة لتشكل وتطور المجرة، أصبح الكون أكثر اختلافًا. بمرور الزمن،

فإن المنحدرات شديدة الانحدار للمادة والطاقة التي ظهرت في المجرات جعلت من الممكن تدفُّق مادة وطاقة جديدتين وبالتالي كذلك مستويات جديدة من التعقد الأكبر. وعلى العكس، أصبح فضاء ما بين المجرات فارغًا بشكل متزايد وبالتالي أقل تعقدًا. وبالنظر إلى هذه العملية في ما يتعلق بالتعقد المتنامي، من المثير للدهشة كيفية تشكل تعقد ذي مقياس أكبر بكثير خلال هذه الفترة الزمنية المبكرة من التاريخ الكبير، وكيف أصبح مختلفًا، فقط على أساس عنصرين كيميائيين بسيطين: الهيدروجين والهليوم.

ظهور النجوم

خلال ظهور المجرات، بين 700 مليون و2 مليار سنة بعد الانفجار الكبير، ظهرت أيضًا أول نجوم. من الواضح، أنه في ذلك الوقت كانت ظروف جولديلوكس موجودة دعَّمت تشكيل النجوم. وبعكس المجرات، كانت النجوم قد تشكَّلت منذ ذلك الوقت. من الواضح أن ظروف جولديلوكس لتشكيل النجوم أقل تقيدًا بكثير من تلك التي دعَّمت تشكيل المجرة. بالفعل، سوف يستمر تشكيل النجم طالما كانت المجرات تحتوي على كميات كافية من الهيدروجين والهليوم، لبنات البناء الأولية للنجوم. ولأنه بمرور الزمن انخفضت هذه السحب الضخمة من العناصر الكيميائية الخفيفة، فإن كلًا من أعداد وحجم النجوم التي تشكلت قد انخفض أيضًا.

في التاريخ المجَرّي المبكر، ظهرت أعداد كبيرة من النجوم العملاقة، لأنه كانت هناك كمية كبيرة من المادة الأولية المدمجة عن قرب متاحة يمكنها التشكُّل من خلالها. ويطلق على هذه الفترة زمن «انفجار النجم»، لأنه حدث، فجأة، أن كان هناك الكثير من النجوم التي توهّجت بشكل ساطع لفترة زمنية قصيرة. ونتيجة لذلك، وخلال مليارات السنوات القليلة الأولى من تاريخ الكون أنتجت المجرات ضوءًا أكثر بكثير مما حدث خلال الفترة اللاحقة. ولأنه عبر الزمن انخفضت أعداد لبنات البناء الأولية، انخفضت فرصة تشكيل نجم. ونتيجة لذلك، يتم في الوقت الراهن تشكيل نجوم أقل، وبشكل خاص أكثر نجوم كبيرة أقل بكثير.

تتشكل النجوم من سحب الهيدروجين والهليوم التي تقلصت في البداية، ثم انهارت، تحت تأثير الجاذبية. ويلخص إريك جانتش هذه العملية كما يلي[22]:

> «تبعًا لنموذج التكثيف البسيط (ستينلين 1977)، يتم تخيل تشكيل النجوم بأن سُحُب المادة ما بين النجوم عند درجة حرارة بين 10 و100 درجة كلفن، تكثَّفت

على هيئة عدد كبير من سحُب نجمية مبكرة تحت تأثير الجاذبية. تولَد النجوم عامة من التجمُّعات العنقودية، خاصة في التجمُّعات العنقودية الكروية المذهلة التي يتراوح قطرها بين 20 و400 سنة ضوئية. بجانب التجمعات العنقودية الكروية، هناك أيضًا مجموعات مفتوحة يتراوح قطرها بين 5 و30 سنة ضوئية. في حالة الشمس، وصلت السحب النجمية المبكرة إلى ما وراء مدار كوكب بلوتو. عندما تصل السحب النجمية المبكرة هذه إلى أقل كثافة وهي 10 13- جرام لكل سنتيمتر مكعب، فإنها تنهار بسرعة السقوط الحر. خلال هذا التقلُّص السريع جدًا – من المقدر أن الشمس تقلصت خلال عقد من قطر يناظر مدار بلوتو إلى قطر يناظر مدار عطارد – ترتفع درجة الحرارة والضغط إلى حد هائل. بذلك، فإن الشروط يتم إعادة خلقها وهو ما يناظر مرحلة مبكرة في الكون، لكنه المفضل أكثر لتركيب النوى الذَرّية الأكثر ثقلًا. ويلعب التطور على المستوى الكبير كداعم للتطور على المستوى الصغير، الذي يكون قد أصبح ثابتًا».

قد تنهار سُحُب الهيدروجين والهليوم لتكوين نجوم لأسباب مختلفة. أولًا، قد يحدث ذلك تلقائيًا نتيجة لتصادمات عشوائية تؤدي إلى تركيزات كبيرة للغاية في مادة السحُب. بمجرد أن تصبح مثل هذه السحُب ذات كثافة كافية، وبالتالي تكون جاذبيتها قوية بما فيه الكفاية، سوف تجذب المادة معًا وتقوم بتشكيل نجم. لكن أيضًا ببث مثير من الخارج، مثل مولِّد النجوم الكبيرة، طاقة كثيرة جدًا حتى إن السُحُب المحيطة من العناصر الكيميائية الخفيفة يتم دمجها بما يكفي لبدء سلسلة تفاعل تشكيل نجم[23]. بالإضافة إلى ذلك، قد تكنس الانفجارات النجمية الرئيسية معًا المادة الحرة بما يكفي لجعلها تتكثف تحت تأثير الجاذبية. في كل هذه الحالات، يكون تدفق طاقة ما خلال المادة هو سبب ظهور التعقد النجمي.

بمجرد أن يصبح نجم أولي كبيرًا وكثيفًا بما يكفي، تظهر ظروف جولديلوكس تدعم الاندماج النووي. والضغط الهائل في القلوب النجمية الناتج عن الجاذبية يضغط نوى الهيدروجين لتصبح متقاربة جدًا من بعضها بعضًا. وفي الوقت نفسه، ترفع طاقة الجاذبية المنبعثة عن تقلص النجم درجة الحرارة في قلبه إلى مستويات تسمح ببدء سلسلة التفاعلات النووية، لتكوين نواة هليوم واحدة من أربع نوى هيدروجين. خلال هذه العملية، يتم تحويل كمية بالغة الصغر من المادة إلى طاقة، بينما تطلق عملية إعادة تنظيم الجسيمات الأولية في النوى طاقة أيضًا. يأتي تفاعل الاندماج النووي هذا نتيجة

تأثير متبادل بين قوتين طبيعيتين، القوة الشديدة، التي تجذب الجسيمات الأولية الثقيلة (باريونات) معًا، والقوى الكهرومغناطيسية، التي تدفع الجسيمات التي لها الشحنة نفسها بعيدًا عن بعضها بعضًا. ولأن نوى الهيدروجين (البروتونات) ذات شحنة موجبة، تحتاج إلى كمية كبيرة من الضغط لكي تتغلب على القوة الكهرومغناطيسية وتدفع نفسها معًا بحيث تكون قريبة جدًا حتى إن القوة الشديدة، التي تعمل فقط على مسافات قصيرة جدًا، يمكنها أن تلعب دورًا مهمًا.

يظهر موقف جلوديلوكس هذا الذي يدعم الاندماج النووي عميقًا في النجوم التي تم تشكيلها حديثًا، بفضل حقيقة أن الجاذبية تضغط المادة وترفع من درجة حرارتها بما يكفي. والتفاعل الناتج بين الجسيمات الأولية تحت تأثير القوة الشديدة يؤدي إلى تكوين نوى هليوم، والتي تتكون من بروتونَيْن موجبي الشحنة ونيوترونَيْن متعادلَيْن. ويمكن وصف النيوترونات بشكل فضفاض بأنها بروتونات من دون شحنة. خلال هذه العملية تتكون النيوترونات من البروتونات ببث شحنتها الموجبة على هيئة بوزترونات (إلكترونات مضادة).

في هذا الموقف، تهيمن القوة الشديدة، التي تجذب البروتونات والنيوترونات معًا، على القوة الكهرومغناطيسية، بفضل حقيقة أن النيوترونات متعادلة. لذلك، فإنها لا تتأثر بالكهرومغناطيسية، ومن ثم تساعد على لصق النوى معًا. في الوقت نفسه، تتوحّد البوزترونات المنبعثة بسرعة مع الإلكترونات لإبادة بعضها البعض والتحول إلى طاقة. ونتيجة لذلك، ينتج عن الاندماج بين نوى الهيدروجين داخل النجوم نوى هليوم بينما يتم إطلاق طاقة[24]. وهذه الطاقة تتفرق في ما بعد إلى سطح النجم، ومن هناك إلى الفضاء، وتكون في الغالب على هيئة إشعاع كهرومغناطيسي. تلك عملية بطيئة. وفي الوقت الراهن، على سبيل المثال، قد يستغرق الأمر ما بين 10000 و170000 سنة (تختلف التقديرات) لكي تصل الطاقة المنبعثة من قلب شمسنا إلى سطحها.

وتشبه ظروف جولديلوكس في القلوب النجمية التي تدعم الاندماج النووي الأحوال التي هيمنت خلال عصر الإشعاع. يؤدي ذلك إلى التبصُّر العميق بأن ظروف جولديلوكس التي كان يتصف بها التاريخ الكوني المبكر لا تزال موجودة اليوم، بما في ذلك شمسنا. والاختلاف الأساسي هو أن الكون المبكر كان متجانسًا تقريبًا، بينما لم تكن النجوم وما يحيط بها متجانسة. بعبارة أخرى، بينما كانت ظروف جولديلوكس

موجودة في كل مكان لفترة زمنية قصيرة جدًا خلال تاريخ الكون المبكر، يمكن العثور عليها فقط في قلوب نجمية في الكون الراهن، وهو ما يتقلص فقط إلى جزء صغير جدًا من فضاء الكون. والاختلاف الآخر الرئيسي هو أنه بينما تغير الكون الوليد بسرعة كبيرة بحيث كان من الصعب وجود أي وقت لحدوث اندماج نووي، فإن كل النجوم، حتى تلك التي كان لها أقصر تألُّق، عاشت مدة أطول إلى حد كبير. ونتيجة لذلك، أصبحت النجوم أفران الصَّهْر لخلق تعقد أكبر على مستويات أصغر، بينما سمح وعاء النفاية الكوني لفضاء ما بين النجوم بأن تتخلص النجوم من الإنتروبيا الخاصة بها وتحافظ على استمرار تعقدها.

لماذا تشكَّلت النجوم بتلك الطريقة بدلًا عن الانهيار تمامًا لتشكيل نجوم نيوترون وثقوب سوداء؟ أولًا، وُجد حد جولديلوكس أكثر انخفاضًا تحت ذلك بحيث كان من غير المرجَّح حدوث مثل هذا الانهيار. ولا ينتج عن كل مادة الكواكب مثل الأرض مجتمعة ما يكفي من الجاذبية للتغلب على التأثير الطارد للقوة الكهرومغناطيسية. لو كانت كذلك لما كنا قد وُجدنا. ورغم ذلك قد يتساءل المرء حول سبب أن النجوم، وجميعها أكبر بكثير من كوكبنا الأرضي، لم يحدث لها انهيار كامل تحت تأثير وزنها الخاص. من الواضح أن هناك قوة تمنع من حدوث ذلك. إنها الضغط الخارجي للإشعاع الناتج عن الاندماج النووي في القلوب النجمية، والذي يقدِّم القوة التي تقاوم الجاذبية. نتيجة لهاتين القوتين المتوازنتين، تصل النجوم إلى نُظم حالة استقرار ديناميكي وتظل كذلك طالما كان هناك ما يكفي من الوقود النووي لحرقه. وتدفق الطاقة هذا خلال المادة هو الذي يحافظ على تعقد النجوم ويمنعها من الانهيار على هيئة نُظُم مادة ذات كثافة أعلى وتعقد أكثر انخفاضًا.

وعندما يحدث ذلك، تصبح النجوم هي البنى الأولى ذاتية التنظيم. ويعمل ذلك على الطريقة التالية، ينتج عن أي تقلص تجاذبي درجات حرارة أعلى في القلب، وهو ما يسرِّع من عملية الاندماج النووي. ويطلق ذلك المزيد من الطاقة، التي تجعل النجم يتمدد. ويبرد التضخم النجمي، بدوره، النجم، وهو ما يبطئ من عملية الاندماج النووي. ويخفض ذلك من خرج إشعاع النجم ويجعله يتقلَّص من جديد. ونتيجة لهذه الحلقة التكرارية ذات الارتجاع السلبي، تُعدُّ النجوم نظمًا ذاتية التنظيم، ذات حالة مستقرة ديناميكيًا، تحافظ على تعقدها طالما لم تخلُ من وقودها النووي[25].

بعد تشكلها الأولي، لا تحتاج النجوم إلى أن تكون تحت تصرفها بعد ذلك مادة وطاقة من الخارج لاستمرار وجودها، طالما تحافظ الجاذبية على الضغط وتحافظ النيران النووية الناتجة على الاحتراق. بعكس الكائنات الحية، التي عليها استخراج المادة والطاقة باستمرار من بيئتها الكوكبية للمحافظة على تعقدها، لا تحتاج النجوم إلى الحصول على المادة والطاقة بعد ذلك من بقية الكون لكي تتوهَّج بعد إشعالها.

تُظهر الأحجام النجمية نطاق جولديلوكس، أي من نحو 0,01 مرة كتلة شمسنا إلى حد أقصى يصل إلى نحو 200 مرة كتلة شمسنا[26]. ولا تشتعل الأجرام الأصغر من الهيدروجين والهليوم لأنه ينقصها ما يكفي من الضغط التجاذبي، بينما تكون النجوم الأولية من الكبر بحيث لا تنهار تحت تأثير وزنها الخاص إلى ثقوب سوداء. تحرق النجوم الكبيرة وقودها النووي بشكل أسرع وتوجد بالتالي لمدد زمنية أقصر نسبيًا. يمكن لأكبر النجوم أن تتوهج لنحو 12500 سنة. ونتيجة لذلك، فإن كل النجوم المبكرة الكبيرة قد اندثرت منذ زمن بعيد، بينما يجب أن تكون كل النجوم العملاقة القريبة قد تشكلت في زمن حديث. والقليل من النجوم، بالعكس، تحرق وقودها ببطء شديد. ونتيجة لذلك، سوف توجد النجوم الأصغر لنحو 16000 مليار سنة. وهذا يعني أن كلها، في الوقت الراهن، لا تزال في مرحلة طفولتها، بغض النظر عن زمن ظهورها. السبب الجذري وراء هذه الاختلافات في الأعمار النجمية هو أن النجوم الأكبر تحوِّل الهيدروجين إلى هليوم بشكل أسرع من النجوم الأصغر. بينما لدى النجوم الكبيرة كمية كبيرة من الوقود الإضافي لتحرقه، فإنها فوق ذلك تحرقه بشكل أسرع.

لأن النجوم الكبيرة تحرق وقودها النووي أسرع من النجوم الأصغر، فإن كثافات قوتها تكون أعلى. ومع ذلك، ليس من الواضح لي ما إذا كانت النجوم الأكبر يجب اعتبارها من ثَمَّ أكثر تعقدًا. قد يقال بالفعل إن النجوم الصغيرة تحتاج إلى تدفقات طاقة أصغر نسبيًا لكي تصل إلى مستوى مماثل من التعقد. قد يعني هذا أن النجوم الصغيرة ذات كفاءة طاقة أكثر من النجوم الكبيرة.

من وجهة نظر إريك شايسون عن التطور الكوني، هناك عملية إقصاء غير عشوائية حدثت خلال فترات زمنية طويلة، أقصت النجوم الكبيرة التي تحرق الوقود بشكل أسرع، ببساطة لأنها كانت موجودة لفترات زمنية قصيرة نسبيًا[27]. يؤدي ذلك تلقائيًا إلى بقاء النجوم الأصغر الأطول عمرًا. قد يتساءل المرء من ثم حول ما إذا كانت كفاءة

الطاقة الأعلى خلال التطور الكوني تعتبر صِفة ذات قيمة مهمة للبقاء. سوف نعود إلى هذا الموضوع لاحقًا.

في التطور الكوني، يفضِّل شايسون مصطلح «إقصاء غير عشوائي» على «الانتقاء الطبيعي»، لأننا لا نعرف أي عنصر يقوم بالانتقاء. تم تقديم مصطلح «إقصاء غير عشوائي» بواسطة عالم البيولوجيا الأمريكي إرنست ماير[28] Ernst Mayer. تعتبر وجهة نظر شايسون حول التطور الكوني أكثر عمومية من آلية الانتقاء الطبيعي في البيولوجيا التي كان قد اقترحها تشارلز داروين وألفريد والاس. بعكس الحياة، ليس هناك عائلات من النجوم تتكون من أجيال متتالية تتنافس مع بعضها بعضًا بسبب المصادر المحدودة. ويضاف إلى ذلك، أنه لم تتراكم معلومات في النجوم قد تساعدها على التكيف مع الظروف المتغيرة. وبعكس الحياة، تعتبر النجوم والمجرات هويات معقدة لكنها غير متكيّفة.

النجوم كأفران صَهْر نووية

كما تمَّت الإشارة من قبل، خلال المرحلة المبكِّرة من تشكّل أي مجرة أو نجم بالكاد لم تكن هناك أي عناصر أخرى غير الهيدروجين والهليوم. وبالضرورة، من ثم، فإن كل النجوم المبكرة تقريبًا كانت تتكون على وجه الحصر من لبنات البناء هذه. لو كان لهذه النجوم كواكب، فلا بد أنها كانت تتكون أيضًا على وجه الحصر من الهيدروجين والهليوم. حتى في الوقت الحالي، فإن أغلب المادة الكوكبية في مجموعتنا الشمسية لا تزال محصورة في هذا النوع، وبشكل خاص الكواكب العملاقة: المشترى، وزحل، وأورانوس ونبتون. ولا يثير الكثير من الدهشة أن هذه الكواكب الكبيرة لا يظهر عليها أي تعقد كبير. ومع ذلك، هناك أيضًا أربعة كواكب صغيرة داخلية في مجموعتنا الشمسية، بما في ذلك الأرض، التي تتكون في الغالب من عناصر كيميائية أكثر ثقلًا مثل الكربون، والأكسجين، والمغنيزيوم، والسليكون والحديد. من أين جاءت هذه العناصر الكيميائية الأكثر تعقدًا، وما هي المدة التي ظلت موجودة خلالها؟ الإجابة عن السؤال أول واضحة: تلك كانت نتيجة التركيب النووي، تشكيل عناصر جديدة في النجوم. ن ذلك فإن الأكثر صعوبة بكثير هو معرفة المدة الزمنية التي كانت العناصر الكيميائية لأكثر ثقلًا موجودة خلالها في الكون.

تعمل عملية التركيب النووي كما يلي. تشكيل الهليوم من الهيدروجين في القلوب

النجمية يؤدي حتمًا إلى نفاد إمدادها الرئيسي بالوقود، الهيدرجين، وإلى تكوين الهليوم. في النجوم الضخمة بما يكفي، بعد أن يكون قد تم استخدام أغلب الهيدروجين القابل للاحتراق، يسبب تأثير الجاذبية الذي لا يلين ارتفاع الحرارة إلى درجات حرارة أعلى من 10^8 كلفن. هذه ظروف جولديلوكس تدعم عمليات اندماج نووي جديد، حيث يتم تحويل الهليوم إلى عناصر كيميائية أكثر ثقلًا. فبمجرّد احتراق الهليوم، لو كان النجم كبير بما يكفي، سوف يسبب المزيد من تقلصه بسبب الجاذبية ارتفاع درجة الحرارة من جديد. ويتيح ذلك ظروف جولديلوكس لظهور عناصر كيميائية أكثر ثقلًا بكثير، صعودًا حتى الحديد. كما ذكرنا من قبل، الحديد هو العنصر الكيميائي الأكثر استقرارًا، ومن ثم العنصر الأكثر ثقلًا الذي يمكن تكوينه تحت ظروف نجمية متوسطة. كانت هذه المواقف موجودة لفترة زمنية ضخمة، وهو ما يعني أنه كان هناك وقت كافٍ لتكوين كميات كبيرة من هذه النوى الذرية الأكثر تعقدًا.

خلال مرحلتها الأخيرة، التي لعلها امتدت ما يقرب من بضعة آلاف من السنوات، كان في استطاعة النجوم عالية الكثافة أن تقوم بتركيب حتى العناصر الكيميائية الأكثر ثقلًا خلال عملية أسر نيوترون. وتنتج عن ذلك عناصر مثل النحاس، والزنك، والفضة والذهب. بعد أن انتهت هذه العملية، لم يكن قد تبقى أي وقود نووي يمكن حرقه، وتلاشى تدفق الطاقة الذي يوازن الجاذبية. ويطلق هذا الانهيار السريع لهذه النجوم الثقيلة جدًا طاقة كثيرة حتى إنها تنفجر في ما بعد على هيئة كرات نارية هائلة، وهو ما يطلق عليه سوبرنوفا. وتتيح هذه الانفجارات ظروف جولديلوكس لظهور العناصر الكيميائية المستقرة الأكثر ثقلًا، صعودًا حتى اليورانيوم. ولأن ظروف جولديلوكس تستمر في الوجود لفترات زمنية قصيرة جدًا فقط، تعتبر العناصر الكيميائية بالغة الثقل نادرة[29].

من الصعوبة معرفة المدى الزمني الذي استغرقه حدوث هذه العمليات. ولأن العناصر الأكثر ثقلًا نادرة نسبيًا، من الصعب رصدها في الضوء الضعيف جدًا، والمتوقَّع أنه قديم. ومع ذلك، بالفعل خلال فترة تكوين المجرة في الفترة المبكِّرة، تتشكل الكثير من النجوم الكبيرة التي احترقت بسرعة نسبيًا. والمرجح أكثر، أن هذه النجوم العملاقة قد شكلت عناصر كيميائية أكثر ثقلًا أيضًا. ولعلّ تدفقات الطاقة الهائلة التي تم إطلاقها نتيجة لانفجاراتها قد دمَّرت أغلب، إن لم يكن كل، التعقد القريب الذي لعله ظهر

حينئذ. ورغم ذلك نشرت هذه الانفجارات الضخمة أيضًا عناصر كيميائية أكثر ثقلًا تم تكوينها حديثًا خلال الفضاء المجري المحيط. وأنتجت هذه الظروف الأكثر برودة ظروف جولديلوكس دعَّمت ظهور جزيئات بسيطة من العناصر الكيميائية مثل الماء، الذي يتكون من هيدروجين وأكسجين، والسليكات، والتي تتكون من السليكون، والأكسجين والمعادن، والجزيئات العضوية الصغيرة، بما في ذلك الأحماض الأمينية البسيطة، وهي لبنات بناء البروتينات.

وبحدوث ذلك، كان طقم بنية الطبيعة قد اغتنى بتشكيلة ضخمة متزايدة من لبنات البناء الكيميائية. ولعل ذلك قد حدث مبكرًا ليعود إلى 10 مليارات سنة مضت، إن لم يكن أقدم من ذلك. ونتيجة لذلك، لعل أحوال جولديلوكس التي دعَّمت ظهور كواكب صخرية، وربما حياة أيضًا، قد ظهرت بالفعل خلال ذلك الوقت.

الفصل الرابع

جيراننا في الكون

ظهور تعقد أكبر

مقدمة

كما نعرف جميعًا، أنه بين جيراننا في الكون، المجموعة الشمسية، كانت الظروف مناسبة فحسب لوجود حياة على كوكب مفضًل واحد على الأقل: الأرض الطيبة. ولا نعرف ما إذا كانت الحياة والثقافة كما نعرفهما فريدتين من نوعهما، أو ما إذا كانتا قد ظهرتا أيضًا في مكان آخر في الكون. ويعود هذا بشكل رئيسي إلى أن هذه الأنواع من التعقد الأكبر صغيرة ومن ثم من الصعب رصدها من على أبعاد قصيّة. بينما تَوَلّدت عن الحياة والثقافة كثافات قوة أكبر بكثير من النجوم، تعتبر تدفقات الطاقة نفسها بالغة الصغر مقارنة بالخرج العملاق للأجرام النجمية. ونتيجة لذلك، يعتبر من الصعب إلى أقصى حد رصد الإشعاع الناتج عن أنواع حياة أو ثقافة أخرى محتملة، حتى داخل مجرتنا الخاصة. وقد يكون من الأكثر سهولة العثور على الظواهر المتراكمة للحياة، مثل الأغلفة الجوية الكوكبية الغنية بالأكسجين[1]، بالإضافة إلى بعض الظواهر الجماعية للثقافة، وبشكل خاص الإشعاع الكهرومغناطيسي من المذياع، والتلفزيون والهواتف المحمولة. ورغم ذلك، بالنظر للأمر على مقياس مجرِّي -إن لم يكن المقياس الكوني- تعتبر هذه الظواهر بالغة الصغر أيضًا. وبالتالي، يبدو من غير المرجَّح أننا سوف نستطيع اكتشاف حياة وثقافة بعيدتين جدًا لجيراننا في الكون بمساعدة تقنيات الرصد الراهنة. في نقطة ما في المستقبل، قد يرصد العلماء حياة على المريخ أو على الأقمار التي تدور

حول المشترى أو حتى ربما على زحل. ومع ذلك، تعتبر الأرض، في الوقت الراهن، هي المكان الوحيد في الكون المعروف عنها أنها ملجأ للحياة[2].

لو أن هناك حياة في مكان آخر في الكون، فلعلها قد سبقت الحياة على الأرض. ربما ظهرت أول عناصر كيميائية أكثر ثقلًا والتي تحتاجها الحياة في وقت مبكر يعود إلى 10 مليارات سنة. وبناء على الأعداد الهائلة للمجرات -ربما 100 مليار في الكون المعروف، وكل منها ربما يحتوي على ما يقرب من 100 مليار نجم- تبدو الفرص كبيرة لظهور الحياة والثقافة في أماكن أخرى، وربما إلى حد كبير تكوّن أقدم من ظهورها على كوكبنا الوطن. ويضاف إلى ذلك، لا نعرف حتى، بالنظر إلى المقياس الكوني، ما إذا كانت الحياة، بالفعل، هي الخطوة التالية نحو تعقد أكبر. ربما توجد أنواع أخرى من التعقد الأكبر بعيدًا عنا في الفضاء الخارجي ونعجز في الوقت الراهن عن رصدها أو حتى تصورها[3]. نتيجة لذلك، بينما نناقش ظهور الحياة والثقافة على الأرض، تصبح قصتنا عن التاريخ الكبير بالضرورة مركَّزة على المجموعة الشمسية وخصوصًا على الأرض[4].

ليس من المثير للدهشة إلى حد كبير، أن معظم علماء الطبيعة الذين يدرسون المجموعة الشمسية، والأرض والحياة يقومون بتحليل بياناتهم من حيث تدفقات الطاقة خلال المادة في إطار حدود جولديلوكس معينة، التي تنتج أو تدمِّر التعقد. ورغم ذلك ففي حدود معرفتي لا توجد حكايات منهجية تصف ظهور جيراننا في الكون بوضوح بهذه المصطلحات[5].

المنطقة المَجَرِّية الصالحة للسكنى

يدعم موقع مجموعتنا الشمسية في مجرتنا ظهور الحياة على الأرض. في ذلك العصر، لعل ما يطلق عليه «المنطقة المجرية الصالحة للسكنى» قد ظهرت منذ نحو 8 مليارات سنة. وقبل ذلك الوقت، لعل الكثير جدًا من أحداث السوبرنوفا قد أفنت الحياة. ومنذ ثمانية مليارات سنة يعني 3 مليارات سنة كاملة قبل ظهور مجموعتنا الشمسية. وهذا يعني أنه قد يكون هناك الكثير جدًا من الأماكن في المنطقة المجرية الصالحة للسكنى حيث تطورت الحياة قبل تطورها بين جيراننا في الكون.

تبعًا لعلماء الفيزياء الفلكية الأستراليّين تشارلز لينويفر Charles Lineweaver، وييش فينر Yeshe Fenner وبراد جيبسون Brad Gibson، تتصف المنطقة المجرِّية الصالحة

للسكنى «بأربعة متطلبات أولية للحياة المعقَّدة: وجود نجم مضيف، والعناصر الثقيلة الكافية لتشكيل الكواكب الأرضية، والوقت الكافي للتطور البيولوجي، وبيئية خالية من السوبرنوفا المدمِّرة للحياة»[6]. على أساس هذه المعايير، تم تحديد هذه المنطقة باعتبارها منطقة حلقية توجد مراكزها على بعد 23000 و30000 سنة ضوئية من المركز المجَرّي. وهي تتكون في أغلبها من نجوم ظهرت بين 4 و8 مليارات سنة، وهو ما يعني أن نحو 75 في المائة من هذه النجوم أقدم من شمسنا. ولأن نصف قُطر مجرتنا 50000 سنة ضوئية تقريبًا، توجد المنطقة المجَرّية الصالحة للسكنى في منتصف المسافة من مركز مجرة درب التبانة. ونتيجة لذلك، من حيث مكان تركز المادة المجَرّية، تعتبر المنطقة الصالحة للسكنى بالأحرى قريبة أكثر للحافة الخارجية لمجرة درب التبانة. ويستنتج الكتّاب ما يلي:

«بالتالي، هناك منطقة جولديلوكس للمعادن (بالنسبة لعلماء الفيزياء الفلكية، تعتبر كل المعادن عناصر كيميائية أكثر ثقلًا من الهليوم): وبالقليل جدًا من المعادن، تعجز الكواكب بكتلة الأرض عن التشكل، وبالكثير جدًا من المعادن، تدمّر الكواكب العملاقة الكواكب التي لها كتلة الأرض (لأنها تميل إلى التحرك إلى الداخل نحو النجم المركزي) التشكل القوي المبكر للنجم نحو المجرة الداخلية يتيح العناصر الثقيلة الضرورية للحياة، لكن تكرار السوبرنوفا يظل مرتفعًا إلى حد الخطر هناك لعدة مليارات من السنوات. متوازنة بين الانتفاخ الداخلي المزدحم والمجرة الخارجية القاحلة، ظهرت المنطقة الصالحة للسكنى منذ نحو 8 مليارات سنة (68 في المائة حدود خارجية) تمدَّدت مع الوقت مع انتشار المعادن إلى الخارج في المجرة وانخفاض معدل السوبرنوفا.. نجد أن 75 في المائة من النجوم التي يمكن أن تأوي حياة أقدم من الشمس وأن متوسط عمرها أقدم بنحو مليار سنة من الشمس.. والعوامل الأخرى التي لعلها قد لعبت دورًا مهمًا... بما في ذلك تكرار التصادمات الكاشطة بالسحب الجزيئية، ودوران المدارات النجمية وقربها من دائرة الدوران المشترك corotation، وتأثير انفجارات النجم ونواة مجرية نشطة في التاريخ المبكر لأغلب المناطق المركزية لدرب التبانة[7]».

في ما هو أقرب إلى المركز المجرِّي، لعله كان هناك المزيد من أحداث السوبرنوفا أكثر مما هو موجود كلما ابتعدنا نحو الخارج. ومهما كانت أحداث السوبرنوفا هذه

مدمّرة للحياة التي لعلها قد تشكلت، فإنها قد أنتجت أيضًا عناصر كيميائية أكثر ثقلًا وهي العناصر الأساسية للحياة. كلما ابتعدنا أكثر نحو حواف المجرة، كلما قل ظهور هذه العناصر، لأنه كان هناك ببساطة أحداث سوبرنوفا أقل. ويفسر ذلك سبب وجود حد جولديلوكس خارجي للحياة في مجرتنا. ولأن أحداث السوبرنوفا انخفضت بمرور الزمن، بينما ازداد عدد العناصر الكيميائية الثقيلة في كل المجرة، تمدَّدت حدود جولديلوكس المناسبة للحياة نحو مركز المجرة ونحو الحافة الخارجية.

إن لمجرتنا بنية دائرية مسطَّحة بأذرع تمتد بعيدًا في الفضاء. من الواضح، أن الحواف الخارجية لمجرة درب التبانة يمكن العثور عليها بالقرب من نهايات هذه الأذرع. ورغم ذلك لو كان علينا أن ننتقل إلى أعلى أو أسفل من المستوى المجري حيث نقع (أي نحو 20 سنة ضوئية من مستوى المجرة)، سوف نصل إلى أننا نعيش على قرب نسبي من حافة خارجية لدرب التبانة أيضًا، ربما لا تزيد على نحو 1000 سنة ضوئية. وهذا يعني أننا محاطين بنجوم قد تتحول إلى سوبرنوفا وتفنينا أقل بكثير مما لو كنا نعيش داخل عمق المجرة الكروية. وهذا يجعل المرء يتساءل عمَّا إذا كانت المجرات المسطحة أكثر ملاءمة للحياة من أقربائها الكرويين.

في المنطقة المجرية الصالحة للسكنى، تتضمن ظروف جولديلوكس لظهور حياة معقدة القليل من القيود الإضافية. أولًا، لو أن النجم المركزي في مجموعة شمسية كان بالغ الضخامة، سوف يحترق بسرعة كبيرة. ونتيجة لذلك، لن يستمر في الوجود فترة زمنية طويلة بما يكفي، الفترة الضرورية لتطور الحياة على كواكبها. وربما لا يكون النجم المركزي صغيرًا جدًا أيضًا لأنه لا يتيح طاقة كافية للحفاظ على بقاء الحياة. وقد يعتمد ذلك إلى حد كبير جدًا على قرب الكوكب الحامل للحياة من نجمه المركزي، وأيضًا على احتمال أن الحياة تستخدم مصادر طاقة أخرى أكثر من تلك المتاحة بواسطة زميلها النجمي. لكن لو أن الحياة كانت قد احتاجت طاقة نجمية لاستمرار وجودها، يبدو من الحتمي أنه كلما قَلَّ الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي ينتجه نجمها المركزي، كلما كان موقع تشكّل هذه الحياة أقرب إلى هذا النجم[8]. يضاف إلى ذلك، أن معظم النجوم تتطور على هيئة توائم، كنجوم مزدوجة. من الواضح أن المدارات الكوكبية حول النجوم المزدوجة تكون بالأحرى غير مستقرة. ونتيجة لذلك، قد تتغيَّر بشدة تدفقات الطاقة القادمة من مثل هذه النجوم. وقد يؤدِّي ذلك إلى صعوبة تطور حياة

معقدة، رغم أنه من غير المعتقد أنها مستحيلة[9]. مع ذلك، إذا تم وضع كل هذه الأمور في الاعتبار، فإن فرص العثور على حياة معقدة تبدو أفضل إلى حد كبير بالقرب من النجوم المفردة.

ظهور جيراننا في الكون

بالفعل في العام 1755، ظن الفيلسوف عمانوئيل كَنط أن الشمس والكواكب ظهرت نتيجة سحابة غبار دوّارة تحوّلت، تحت تأثير الجاذبية، إلى حلقة مسطّحة. ولعل الأمر انتهى بأغلب المادة لأن تكون في المنتصف لتشكل الشمس، بينما اندمجت المادة المتبقية على هيئة كواكب، وأقمار، وكويكبات، ومذنّبات وأي شيء آخر يدور حول الشمس[10]. بعبارة أخرى، أتاحت الجاذبية تدفق الطاقة الذي شكّل مجموعتنا الشمسية الراهنة من سحابة من المادة المفكوكة الدوارة.

هذا يجعل المرء يتساءل حول سبب وجود سحابة الغبار الدوارة المتقلصة هذه في المقام الأول. والنظرية الأكثر قبولًا بشكل عام هي أنه منذ نحو 4,6 مليار سنة، انفجر سوبرنوفا في ذلك الجزء من المنطقة المجرية الصالحة للسكنى. ولعل هذا الانفجار النجمي قد أنتج عناصر إشعاعية مثل اليورانيوم الذي نرصده على الأرض في الوقت الراهن. في الوقت نفسه، لعل الموجة الصدمية التي صاحبت هذا الانفجار الفائق قد اكتسحت خلاف ذلك سحابة غبار مفكوكة معًا وبذلك أسهمت في إيجاد ظروف جولديلوكس لتشكيل مجموعة شمسية. بعبارة أخرى، لعل تدفق طاقة مذهل قصير العمر خلال المادة قد أدى إلى ظهور مجموعتنا الشمسية. ونظرًا لنقص البيانات، أجد أنه من المستحيل حساب كثافة الطاقة التي اتصف بها ذلك الحادث[11].

بينما اتحدت أغلب العناصر الكيميائية لتشكيل شمسنا، فإن جزءًا صغيرًا من هذه العناصر قد اندمج على هيئة حلقات كانت موجودة على مسافات منتظمة تقريبًا. وتكونت هذه الحلقات من مزيج من كلّ من العناصر الكيميائية الأكثر خِفّة والأكثر ثقلًا. بمرور الوقت، نَمَت هذه العناصر الثقيلة لتكوين قلوب الكواكب، بينما غطتها العناصر الكيميائية الأكثر خفة بطبقة كانت صلبة، أو سائلة أو غازية، تبعًا للأحوال.

بالقرب من الشمس المنبثقة، كانت الأحوال قد أصبحت حارّة نسبيًا. ونتيجة لذلك، تم إبعاد العناصر الكيميائية الأكثر خفّة بعيدًا إلى الجزء الخارجي من المجموعة الشمسية، بينما اندمجت العناصر الكيميائية الأكثر ثقلًا على هيئة أجرام كوكبية منبثقة.

بعد نحو 100 مليون سنة، أدى ذلك إلى ظهور الكواكب الداخلية الصخرية الأربعة: عطارد، والزهرة، والأرض والمريخ. وكلما ابتعدنا إلى خارج المجموعة الشمسية، تبقى الأحوال أكثر برودة، ما يسمح للعناصر الكيميائية الأكثر خفة أيضًا بالاندماج على هيئة كواكب. وسمح ذلك بظهور العمالقة الغازية الكبيرة:المشترى، وزحل، وأورانوس ونبتون (والتي، مثلها مثل الكواكب الصخرية الداخلية، لها قلب يتكوَّن من عناصر كيميائية أكثر ثقلًا).

بعد نحو مليون سنة، اشتعلت الشمس بنوع ما من الانفجار. ويُطلق عليه رياح T Tauri، عصف بعيدًا بقشرتها الغازية الخارجية ومزَّق أيضًا الأغلفة الجوية للكواكب الصخرية الداخلية المنبثقة. وانتفخ هذا الغاز بعيدًا عن المنطقة الكوكبية، رغم أن الكواكب الغازية الخارجية قد التقطت جزئيًا البعض منه، وبشكل خاص ما حدث للمشترى. وكل هذا يفسِّر سبب أن الكواكب الداخلية تتكون في الغالب من عناصر كيميائية أكثر ثقلًا بينما تتكون الكواكب الخارجية في الأغلب من مواد أكثر خفة.

لم تندمج كل هذه الحلقات لتكوين كواكب. ويتكون الحزام الكويكبي بين المريخ والمشترى ما يُظن أنه عملية تكوين كوكب فاشلة. ولقد فشلت لأن الجاذبية الهائلة الناتجة عن المشترى مزقت بعيدًا أي كوكب أولي ظهر في هذه المنطقة. في ما وراء الكواكب الغازية الكبيرة، كانت هناك أجرام أصغر مثل بلوتو، وتعتبر الآن كواكب قَزَمية، تدور حول الشمس. وهي محاطة بسحب ضخمة من المادة والغبار لم تندمج أيضًا أبدًا لتكوين أجرام أكبر.

في الحقيقة، يُظن أن بلوتو والأجرام السماوية الأخرى المشابهة تنتمي إلى أقرب هذه السحب، وهو ما يُطلق عليه حزام كويبر Kuiper belt، والذي يقع بين 30 و50 وحدة فلكية عن الشمس. والوحدة الفلكية هي المسافة المتوسطة بين الأرض والشمس، وتبلغ نحو 150 مليون كيلومترًا. والأكثر بعدًا، يُظن أن سحابة أورت Oort Cloud الأكثر عرضة للتخمين توجد على بعد بين 50 ألف و100 ألف وحدة فلكية عن الشمس. وبذلك يبتعد الامتداد الأبعد لسحابة أورت إلى مسافة 1,5 سنة ضوئية تقريبًا عن الشمس، أو ربما إلى ما هو أكثر من ذلك حتى. ولأن أقرب النجوم تبتعد نحو أربع سنوات ضوئية عن الشمس، لعل مجموعتنا الشمسية تتبادل بالفعل المادة والطاقة مع أقرب جيرانها على أساس منتظم، وبذلك ربما حتى، خلال فترات زمنية طويلة، مع أجرام سماوية أخرى على المستوى المجرِّي.

أغلب التعقد الكوكبي ظهر خلال المرحلة المبكرة من تشكيل المجموعة الشمسية. وكان تدفق الطاقة الذي جعل ذلك يحدث هو في المقام الأول ما يطلق عليه تراكم الحرارة الناتج عن التقلص التجاذبي الذي تعرضت له الكواكب خلال تشكيلها. ولعل هذا قد وصل إلى نحو 2×10^{32} جول. هذه هي كمية الحرارة الضرورية لتسخين كل الماء الموجود حاليًا على كوكبنا بنحو 6 ملايين درجة مئوية (ما يصل إلى نصف سخونة قلب الشمس)[12]. مع تكوّن كل كوكب، هبطت المادة الأكثر ثقلًا إلى المركز، بينما طفت المادة الأكثر خفة نحو السطح. بهذه الطريقة، تم تشكيل القلب المعدني للأرض، الذي يتكوَّن في الغالب من الحديد وبعض النيكل. وأصبح محاطًا بغطاء يتكون في الغالب من السليكات، الذي تغطيه قشرة سطحية رقيقة بمواد أكثر خفَّة أيضًا. وهذا الفصل بين هذه الطبقات المختلفة هو ما يُطلق عليه الحرارة التفاضلية. وكانت نحو 10^{31} جول، وهو ما كان بالتالي أكثر صغرًا بعامل 10 من تراكم الحرارة[13]. عبر مليارات السنوات، كان معظم، إن لم يكن كل، حرارة التراكم والحرارة التفاضلية قد تم بثه إلى الخارج في الكون. ورغم ذلك لعل الأمر حتى في الوقت الحالي أن بعضًا من هذه الحرارة الأصلية لا تزال باقية في الأرض.

بينما تشتتت هذه الحرارة، بدأت الحرارة المنطلقة من التحلل النووي للعناصر المشِعّة في كلًا من القلب والغطاء في توجيه التعقد الداخلي للأرض. وتنتج هذه الحرارة من توازن غير مستقر داخل النوى الأكبر مثل اليورانيوم والثوريوم، والتي تتكوَّن من الكثير جدًا من البروتونات والنيوترونات. وتتماسك هذه الجسيمات بالغة الصغر مع بعضها بالقوة الشديدة، بينما تدفعها الكهرومغناطيسية بعيدًا عن بعضها بعضًا. في مثل هذه النواة الكبيرة غير المستقرة، تهيمن القوة الكهرومغناطيسية على القوة الشديدة بمرور الوقت، وهو ما يؤدي ببطء ولكن بكل تأكيد، إلى تفرّق هذه النوى الكبيرة إلى نوى أصغر. ويصاحب هذا التحلل النووي انطلاق طاقة. وتقوم هذه الطاقة التي يطلَق عليها الحرارة الناتجة عن النشاط الإشعاعي بتسخين الكوكب بينما تتشتت نحو سطحه، ومن هناك إلى الفضاء. ويتسبَّب منحدر الطاقة الناجم في خلايا حمل في الغطاء العلوي، وهو ما يسبب عملية تكتونيات الصفائح[*]، ويجعل قطعًا كبيرة من القشرة تتحرَّك. وعندما يحدث تشكل الصفيحة التكتونية سطح الأرض. والحرارة

(*) حركة غلاف الأرض الصخري، تم تقسيم هذا الغلاف إلى سبع أو ثمان صفائح تكتونية، تحركت على مر التاريخ لتشكل القارات الحالية.

النووية، التي تنخفض بمرور الزمن نتيجة لانخفاض كميات المواد المشعة (والتي لا تتكون ثانية أيضًا)، يُعتقد أنها توجِّه أغلب التعقد الداخلي للأرض في الوقت الراهن.

بعد نهاية المرحلة التطوُّرية لمجموعتنا الشمسية، لعلها قد شهدت بعض التغيرات الرئيسية. على سبيل المثال، لعل الكواكب العملاقة، وخاصة المشترى وزحل، قد انتقلت إلى الداخل نتيجة الاحتكاك بسحب الغبار المجاورة. ولعل ذلك قد أبطأ من سرعتها، وبذلك قلَّل من حجم مدارها. ونتيجة لذلك، لعل المدارات الحالية للكواكب العمالقة لم تكن هي المناطق التي تطورت فيها بالأصل. وعملية الانتقال هذه لعلها قد أثرت على ظروف الكواكب الداخلية، بما في ذلك الأرض.

خلال ال 600 مليون سنة الأولى من وجودها، شهدت الكواكب الداخلية، وربما بعض الكواكب الخارجية بالمثل، ما يُطلق عليه القصف الكوني لقطع متبقية من التراكم الأصلي للمجموعة الشمسية التي تم جذبها بواسطة جاذبية الكواكب. وكان هذا، بالفعل، هو المرحلة الأخيرة لعملية التراكم. والبيانات التي جعلت علماء الفلك يظنون أن مثل هذا القصف الكوني قد حدث، تم استخلاصها غالبًا من حساب الحفر على قمرنا وعلى المريخ وعطارد، وهو ما تم دمجه مع تقديرات لأعمارها. على الأرض، بالعكس، قامت عمليتا التآكل والصفيحة التكتونية معًا بإزالة معظم، إن لم يكن كل، هذه الآثار. وببطء ولكن بكل تأكيد، انخفضت كثافة القصف الكوني. ورغم ذلك فإنه حتى في الوقت الراهن، لا تزال الأرض تتلقَّى ضربات بعض القذائف الفضائية من أحجام مختلفة كل يوم، وخاصة الصخور، والغبار والماء، وهو ما يصل في مجموعه إلى نحو 40 ألف طن في العام. ويُظن بأن التصادمات المبكرة لمذنَّبات مائية لا تعد ولا تُحصى وراء أغلب الماء الذي لا يزال موجودًا على الأرض[14].

يصاحب كوكبنا قمر واحد وهو كبير بشكل غير عادي مقارنة بالأقمار التي تدور حول الكواكب الأخرى. ويطرح ذلك السؤال حول أصله. ولأن صخور القمر التي عاد بها روَّاد فضاء أبولو تتكون في أغلبها من مواد يُظن بأنها تتشابه جدًا مع مادة الغطاء من الأرض، يرى العلماء أن جرمًا بحجم المريخ قد ضرب الأرض بضربة خاطفة. ونتيجة لهذا الاصطدام، تمزَّقت كمية كبيرة من مادة غطاء الأرض وتشكل منها القمر في ما بعد، بينما امتصَّت الأرض أغلب المادة في هذه القذيفة المدفعية الكونية الهائية. وتوضح نماذج الحاسب الحالية أن هذا الأمر منطقي. وقد يمثل ذلك مثالًا آخر لتدفقات المادة والطاقة التي تدمر وتخلق أنواعًا من التعقد.

خلاصة القول، إنه منذ نحو 4,6 مليار سنة، ظهرت الشمس، والكواكب وكل الأجرام السماوية من أنواع مختلفة لا تزال موجودة، خلال عملية تراكم تحت تأثير الجاذبية، وهو ما أتاح الطاقة التي شكّلت مجموعتنا الشمسية. ولعل ذلك قد استغرق نحو 100 مليون سنة لكي يحدث. وحتى منذ ذلك الوقت، لم تعد ظروف جولديلوكس التي تدعم تكوين الكوكب موجودة في مجموعتنا الشمسية. خلال السنوات الـ 900 مليون التالية، تم التخلّص من أغلب الأجرام السماوية الأخرى في منطقتنا الكوكبية بالسقوط في الأجرام الموجودة بالفعل.

من المرجح أن تعقُّد كلًا من النجوم والكواكب خلال أغلب وجودها منخفض، مقارنة بالحياة، بينما الأشكال الأساسية يمكن التنبؤ بها إلى حد كبير. بكلمات فيليب Philip وفيليس موريسون Phylis Morrison: «بذلك فإن علم الفلك هو نظام الكرة، وليس من الممكن وجود شيء يشبه فنجان الشاي لكي يكون عليه قطر المشترى في عالمنا»[15]. بعبارة أخرى، تسود الكرات وقشر الكرات الكون الفيزيائي نتيجة للجاذبية. ولأن أغلب المادة في الكون تدور، فإن قوة الطرد المركزي الناتجة تؤدي إلى تسطّح هذه الكرات (أو قشر الكرات). ويفسر ذلك سبب أن السماء تهيمن عليها تقريبًا الكرات المسطّحة أو كويكبات من مثل هذه الكرات بأشكال مختلفة. وفقط الأجرام الصغيرة نسبيًا مثل الكويكبات يمكن أن تكون لها أشكال معقدة أكثر.

بينما تدور الكواكب حول الشمس فإنها تشد بعضها بعضًا وتؤدي، نتيجة لذلك، إلى عمليات غير خطية، وفوضوية إلى حد ما. تم إدراك هذه القضية بالفعل بواسطة السير إسحق نيوتن Sir Isaac Newton وشغل عقول علماء الفلك منذ ذلك الحين[16]. ورغم ذلك فإنه قبل ظهور الحاسبات الفائقة ونظرية الفوضى الحديثة، كان من الصعب جدًا التعامل بشكل رياضي مع حسابات هذه الارتباكات. وكانت لهذه الحركات الفوضوية للكواكب تأثيرات مهمة على تاريخ الأرض، كما سنرى في ما يلي.

منطقة المجموعة الشمسية الصالحة للسكنى

في داخل مجموعتنا الشمسية، توجد منطقة جولديلوكس تفضِّل الحياة. ولقد سبق أن رأينا كيف أن المنطقة المجرية الصالحة للسكنى قد تم تعريفها باعتبارها بعيدة بما يكفي عن مركز المجرة، بحيث لا يتم تدمير الحياة بواسطة أحداث السوبرنوفا، لكنها لا تبتعد كثيرًا حيث قد لا تكون هناك أعداد كافية من العناصر الكيميائية الثقيلة، وهي لبنات البناء الأساسية للحياة.

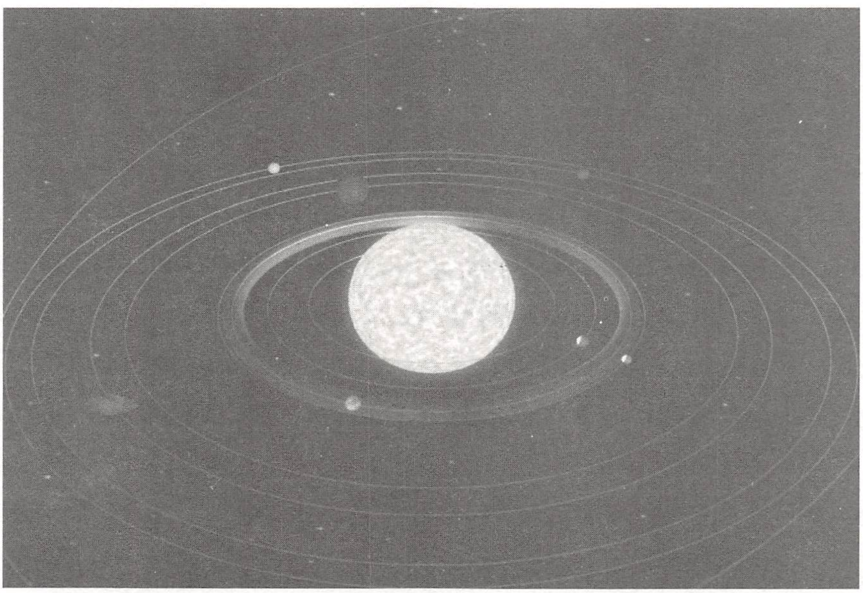
لمدة 50 سنة على الأقل كان العلماء يبحثون عن مناطق صالحة للسكنى HZ حول نجوم مثل شمسنا. في العام 1993، عبّر علماء الفلك: كاستينج، وويتمير ورينولدز عن احتياجات جولديلوكس لهذه المنطقة كما يلي[17]:

«أطروحتنا الأساسية هي أننا نتعامل مع كواكب مثل الأرض ذات أغلفة جوية من ثاني أكسيد الكربون وماء ونتروجين، وأن الصلاحية تتطلب وجود ماء سائل على سطح الكوكب. ويتم تحديد الحافة الداخلية للمنطقة الصالحة للسكنى في نموذجنا بفقد الماء مقابل التحلُّل الضوئي وهروب الهيدروجين (تحلل الماء تحت تأثير ضوء الشمس إلى مقوّماته من العناصر الكيميائية الأكسجين والهيدروجين، ويهرب الهيدروجين إلى الفضاء لأنه خفيف جدًا بحيث لا يمكن المحافظة عليه في الغلاف الجوي بقوة الجاذبية الكوكبية). والحافة الخارجية للمنطقة الصالحة للسكنى يتم تحديدها بتكوين سُحُب ثاني أكسيد الكربون، والتي تقوم بتبريد سطح الكوكب بزيادة النصوع albedo (درجة البياض) وتقوم بتخفيض معدل ارتداد الحمل الحراري (تخفيف سرعة انتقال الحرارة بتيارات الحمل الحراري في الغلاف الجوي). والتقديرات المعتدلة لهذه المسافات في مجموعتنا الشمسية هي 0,95 و1,37 وحدة فلكية AU (الوحدة الفلكية تعني المسافة بين الأرض والشمس، وهي نحو 150 مليون كم أو 8 دقائق ضوئية)، وقد يكون عرض المنطقة الصالحة للسكنى الفعلي حاليًا أكثر بكثير. وبين هذين الحَدَّين، يتأكد استقرار المناخ بواسطة آلية الارتجاع حيث تتغير تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عكسيًا مع درجات حرارة سطح الكوكب. ويكون عرض المنطقة الصالحة للسكنى أكثر بعض الشيء بالنسبة للكواكب الأكبر من الأرض وللكواكب التي لها ضغوط نتروجين جزئية أعلى. وتتطوَّر المنطقة الصالحة للسكنى إلى الخارج مع الزمن، لأن إنارة الشمس ترتفع مع تقدّمها في العمر. والتقدير المعتدل لعرض الـ 4,6 مليار سنة لمنطقة متصلة صالحة للسكنى هو ما بين 0,95 و1,15 وحدة فلكية».

باختصار، بينما عطارد، القريب من الشمس، قد يكون شديد الحرارة، فإن المساحة التي ربما تتضمن الزهرة، وبالتأكيد الأرض وربما المريخ أيضًا تتكون من مسرح جولديلوكس يدعم ظهور الحياة، كما هو موضح في الشكل (4-1).

ويعتمد ذلك إلى حدٍّ كبير على حجم الكواكب التي تجد نفسها في هذه المنطقة.

لو كان الزهرة، على سبيل المثال، أصغر وكان المريخ أكبر، لكان كلا الكوكبين قد ساند الحياة بسهولة أكثر. وكان الغلاف الجوّي للزهرة أكثر نحافةً ونتيجة لذلك كان سيصبح أكثر برودة (وهو الآن شديد الحرارة إلى درجة عدم دعم الحياة). ولعله كان في استطاعة كوكب المريخ الأكبر، بالعكس، أن يحافظ على غلاف جوي أكثر سمكًا، وهو ما كان سيعزِّز ظاهرة احتباس حراري محتملة، وبذلك تتم المحافظة على المريخ أكثر سخونة مما هو عليه الآن. وفي خارج المنطقة الصالحة للسكنى هذه، لعل بعض الأقمار التي تدور حول المشترى وزحل قد أتاحت أيضًا ظروف جولديلوكس لازدهار حياة بسيطة. ولأننا لا نعرف أي شيء عن احتمال وجود حياة على هذه الأقمار، لن يتم تناول هذه القضية هنا بمزيد من التفاصيل[18].



الشكل (4-1): منطقة المجموعة الشمسية الصالحة للسكنى، ولم يتم رسم الكواكب ومداراتها بمقياس رسم واحد (المصدر: ناسا).

المميزات الرئيسية للأرض

ينتج تعقد كوكب مثل الأرض من أربعة عوامل على الأقل: (1) جاذبيته الخاصة، وهي التي تحافظ على الكوكب متماسكًا، (2) الطاقة المتولدة في عمقه الداخلي، في الغالب من خلال عملية تحلُّل نووي للعناصر الكيميائية الثقيلة مثل اليورانيوم، (3)

الطاقة الخارجية القادمة على هيئة إشعاع من نجمه المركزي، والتي تؤثر في الغالب على سطحه، و(4) التأثيرات التجاذبية الكونية، بما في ذلك التصادمات، والناجمة عن أجرام سماوية أخرى، بما في ذلك نجمها المركزي، والكواكب الأخرى، وأقماره، والنيازك، والمذنَّبات والمادة المنتشرة مثل الغبار والماء.

وفي الوقت الحالي تميَّزت الأرض بظروف جولديلوكس كانت جزءًا من نظامنا الكوكبي في أغلب تاريخه. أولًا، يعتبر كوكبنا بحجم مناسب تقريبًا. لو أن الأرض كانت أصغر، لما كانت جاذبيتها الضعيفة تستطيع المحافظة على غلافها الجوي وسطحها المائي السائل، وكلاهما ضروري للحياة. ولو كانت الأرض أكبر إلى حد بعيد، لكانت جاذبيتها الناتجة قد سحقت أغلب الكائنات الحية على الأرض، بينما من المرجَّح أكثر، أن أيّ طائر يظهر لن يستطيع الانطلاق في الهواء. ونتيجة لحجمها، لا يزال داخل الأرض ساخنًا. وحتى بعد 4,6 مليار سنة، لا تزال العناصر الكيميائية المشعّة موجودة في قلب الأرض والغطاء، وهي التي تنتج حرارة. وتؤدي هذه الطاقة إلى تحرُّكات لغطاء الأرض، وهو ما ينتج عنه تغيّر لا يتوقف في سطحها، بما في ذلك الزلازل، والنشاط البركاني، وحركة القارات، وتكوين الجبال وانبساط أرضية المحيط. ونتيجة لذلك، كانت عملية الصفائح التكتونية عبر الزمن تعيد إنتاج أغلب سطح الأرض، بما في ذلك النفاية الناتجة عن الحياة، بتهدُّم قشرة أرضيات المحيط بتراكب حواف الصفحة القارية (حيث كانت تَراكم هذه النفاية) تحت القارات، حيث تتفسَّخ هذه المادة[19]. وعندما تفعل ذلك، فإن الصفائح التكتونية تكون قد قامت بدور وعاء النفاية ونظام إعادة إنتاج لجزء كبير من إنتروبيا المادة الناتجة عن الحياة.

ثانيًا، كانت الأرض ولا تزال تدور حول الشمس عند المسافة الملائمة تقريبًا لأكثر من 4 مليارات سنة. ونتيجة لذلك، لم يكن الإشعاع الشمسي الآتي أبدًا بالغ الضعف لإتاحة طاقة كافية لازدهار الحياة (في مثل هذه الحالة كان الماء على سطح الأرض سيتجمَّد)، وليس بالغ القوة لكي يدمر الحياة (على سبيل المثال، بأن يجعل كل ماء الأرض يتبخر في السماء). وثالثًا، الأرض مزوَّدة بقمر كبير، يجعل دوران محور الأرض مستقرًا. من دون قمرنا، كانت زاوية محور الأرض قد تغيَّرت بتعرجّ. ولعل هذه الحركات كانت ستحدث تغيرات كبيرة في الإشعاع الشمسي عبر سطح الأرض. ورغم أن أنواع الحياة الأكثر بساطة كانت ستستطيع الازدهار في المحيطات خلال مثل

هذه التغيرات في الإشعاع الشمسي، لعل الحياة الأكثر تعقدًا كانت ستواجه وقتًا أصعب لكي تبقى رغم هذه التغيرات[20].

تنتج عن المميزات الخاصة لكوكبنا تشكيلة ضخمة من ظروف الحياة[21]. ومثل كل الكواكب، الأرض كرة. ونتيجة لذلك، فإن تلك الأجزاء من سطحها التي تواجه الشمس (المدارية) تتلقَّى معظم ضوء الشمس، بينما تستقبل الأجزاء القطبية الكمية الأقل. ولذلك ليس من المثير للدهشة أن القطبين يعتبران أكثر برودة بشكل عام من المناطق الاستوائية. وينتج عن هذا التدرج في درجة الحرارة بين المناطق الاستوائية والقطبية تدفُّق مستمر للماء والطاقة من المنطقة الاستوائية إلى القطبين، ويكون في الغالب من هواء ساخن وتيارات محيط، بينما تعود الريح وتيارات الماء الباردة إلى المناطق الأكثر دفئًا.

تدور الأرض حاليًا حول محورها كل 24 ساعة. ونتيجة لذلك، تشهد كل مناطق كوكبنا تقلبات في الإشعاع الشمسي، وخاصة النهار والليل، بالطبع، ولكن أيضًا خلال النهار. في تاريخ الأرض تباطأت سرعة الدوران هذه لأن كلًا من الشمس والقمر كانا يشدان الأرض بلا توقف، ما يتسبب في المد والجزر في المحيطات. ويتسبَّب المد والجَزر في الاحتكاك، الذي يبطء من دوران الأرض. في بداية تاريخ الأرض، لعل النهار والليل كانا يستغرقان ثماني ساعات فقط. وتباطأ دوران الأرض بالتدريج حتى الـ24 ساعة الحالي، ومن ثم نتج منحدر جولديلوكس وأثَّر على كل الظروف الأرضية. ولعله أيضًا تسبَّب في أن يبتعد القمر ببطء ولكن بثبات عن الأرض[22].

تنتج مغناطيسية الأرض من دوران قلبها الحديدي. ويوجّه هذا المجال المغناطيسي الجسيمات المشحونة الآتية من الفضاء، والتي قد تدمِّر الحياة، نحو القطبين، التي ربما تكون بالمصادفة، المناطق ذات الترجيح الأقل في إيواء الحياة. ونتيجة لذلك، تعتبر أغلب الحياة محمية من التأثيرات الضارة الناتجة عن مثل هذه الجسيمات. وليس من المعروف جيدًا تاريخ المجال المغناطيسي للأرض[23]. ويبدو أنه قد عكس قطبَيه بسرعة كبيرة في أزمنة غير منتظمة، في فترات تتراوح بين بضع مئات الآلاف من السنوات إلى ما يصل إلى عشرات الملايين من السنوات. وآخر تغير رئيسي قد يعود إلى نحو 780000 سنة. ولأنه خلال القرون الماضية انخفض المجال المغناطيسي للأرض، لعلنا نقترب بالفعل من حدث آخر لمثل هذا الانقلاب المفاجئ. وقد يؤدي ذلك إلى

اختفاء موقَّت للمغناطيسية الأرضية، وهو ما قد يسمح للإشعاع الكوني بالسقوط في كل مكان على الأرض لا يمثِّل إعاقة، حيث قد يسبِّب طفرات ضارة للكائنات الحية. ولعله حدث أن الانعكاسات المغناطيسية المبكرة كانت تصاحبها موجات مماثلة من التغيرات الوراثية الناتجة عن الإشعاع الكوني،، والذي لعله قد أثر أيضًا على التطور البيولوجي في مجمله.

والآن، يصنع محور الأرض زاوية 66,6 درجة تقريبًا بالنسبة للسطح الذي يدور فيه كوكبنا حول الشمس. ويُظن أن هذه الزاوية أثر من التصادم العنيف الذي انتزع القمر من الأرض. ونتيجة لهذه الضربة، فإن كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى مناطق خاصة تتغير خلال العام، وهو ما ينتج عنه الفصول. وهذه التغيرات مميَّزة بوضوح على الأرض أكثر منها في المحيطات. لأنها تستهلك طاقة أكبر لتسخين الماء أكثر منها لتسخين الأرض، وتحتاج المحيطات لوقت أطول لكي تسخن أو تبرد. ونتيجة لذلك، تميل درجات حرارة المحيط إلى التذبذب أقل بكثير من درجات حرارة الأرض.

يتذبذب مدار الأرض حول الشمس لأن الكواكب الأخرى، وخاصة الكوكب العملاق المشترى، تشدُّ كوكبنا. وتنتج عن هذه التأثيرات التجاذبية ثلاثة نظم مدارية رئيسية. أولًا، ينحرف مدار الأرض من أن يكون ذا شكل أهليلجي أكثر إلى أن يكون دائريًا أكثر ثم يعود إلى الشكل الأول خلال فترة 100000 سنة تقريبًا. وهذا النظام المداري يعرف بأنه «الاختلاف المركزي». والثاني، هو أن الزاوية بين محور الأرض والعمودي على مستوى مدارها حول الشمس، يتغير بشكل دوري بين 21,5 و24,5 درجة. ويطلق على هذا النظام «الميل المحوري» -وهو المعروف رسميًا بأنه «انحراف دائرة البروج»- وزمنه 41000 سنة تقريبًا. وهو ينتج غالبًا عن السَّحْب التجاذبي لكلٍّ من الشمس والمشترى، بينما ينتج عن جاذبية القمر تأثير توازني. والنظام الفلكي المهم الثالث هو دوران محور الأرض، وهو التغير البطيء في اتجاه الميل المحوري -وهو الذي يلتف مثل لعبة الدوامة- وزمنه نحو 21000 سنة. وهذه الظاهرة هي نتيجة لكلٍ من جاذبية الشمس وجاذبية القمر. ويطلق على هذه النظم المدارية معًا «دوائر ميلانكوف»، على اسم عالم الرياضيات اليوغسلافي الذي استفاض في فكرة أن هذه النظم الفلكية قد تكون مرتبطة بالتغير المناخي على الأرض، لأنه تغير في كمية ضوء الشمس الذي يسقط على مناطق محدَّدة[24]. وليس من المعروف الوقت الذي وُجدت

فيه هذه الأنماط. وبالإضافة إلى كونها ارتبطت بشكل مباشر بالعصور الجليدية، ينتج عن كل هذه النظم المدارية عددًا كبيرًا من ظواهر الطاقة المتشابكة، بما في ذلك التغير في أنماط الريح، وتيارات المحيط، وغطاء السحاب وسقوط المطر.

والجغرافيا، التي لم تتغير أبدًا، للأرض، نتيجة التأثيرات الموحَّدة للصفيحة التكتونية والتعرية، تتيح نظامًا مهمًا آخر لظروف جولديلوكس. ولا يتضمن هذا فقط التقسيم بين الأرض والمحيطات، ولكن أيضًا شكله الخاص في الأبعاد الثلاثة، الذي يتراوح بين أخاديد البحر العميقة وأكثر الجبال ارتفاعًا.

التاريخ الكوكبي الداخلي المبكِّر

في البداية، كانت كل الكواكب الداخلية، بما فيها الأرض، ساخنة. وكان هذا نتيجة تراكم الحرارة التي لم تكن قد تشتَّتت بعد في الكون، والمستويات العالية للإشعاع في قلوب هذه الكواكب. وتمزقت الأغلفة الجوية الأصلية للكواكب الداخلية بواسطة توهّج اشتعال الشمس بعد أن بدأت في السطوع. ولعل انطلاق الغازات التالي (وهو ما يطلق عليه «طرد الغازات») من داخل الكواكب قد أوجد أغلفة جوية ثانوية. ومع ذلك، يُظن الآن بأن المذنَّبات المائية التي انهمرت على الكواكب قد أتاحت أغلب الماء، وربما أغلب الغازات الأخرىٍ أيضًا. على الأرض وعلى المريخ، وربما على الزهرة أيضًا، لعل المحيطات قد تشكّلت بمجرد هبوط درجة الحرارة بما يكفي. وبالإضافة إلى الأرض، لعل ذلك قد أوجد أيضًا ظروف جولديلوكس لظهور الحياة على الزهرة والمريخ. ولعل الكوكب الداخلي عطارد كان، بالعكس، بالغ الصغر وقريب جدًا من الشمس -ومن ثم شديد السخونة- بحيث لم يحافظ على غلاف جويًا ثانويًا، فما بالك بالماء السائل. وبالتالي، يرى العلماء أن الحياة لم تتطوَّر أبدًا على عطارد.

عندما سطعت الشمس لأول مرة، لعلها كان توهّجها أقل شدة بنحو 25 في المائة مما هي عليه الآن. عبر مليارات السنوات، ازداد خرْج الشمس بالتدريج حتى وصل إلى ما هو عليه الآن، وبذلك أنتج تدرُّجًا مع الوقت أثر على مجمل المجموعة الشمسية. خلال الفترة المبكرة، كانت منطقة المجموعة الشمسية الصالحة للحياة تقع من ثَمَّ أقرب للشمس، بل لعلها قد سمحت بظهور حياة بسيطة على الزهرة. ومع ذلك، فبمرور الزمن هبطت درجة الحرارة داخل الزهرة بينما ازداد الإشعاع القادم من الشمس. وربما هذا أدى إلى سخونة الزهرة، وهو بحجم الأرض لكنه في موقع أقرب إلى الشمس،

ما جعله يعاني من ظاهرة احتباسٍ حراريٍّ خارجة عن السيطرة، وأصبح بالتالي شديد الحرارة إلى حد لا يسمح بوجود حياة.

ويعتبر كوكب المريخ، بالعكس، أصغر من الأرض إلى حد كبير. ولأنه يقع أبعد كثيرًا عن الشمس، يستقبل المريخ إشعاعًا شمسيًا أقل من الأرض. وبعد تمزُّق غلافه الجوي، لعل المريخ اكتسب غلافًا جَوّيًا ثانويًا. ورغم ذلك لم يكن المريخ كبيرًا بما يكفي لكي تستطيع جاذبيته المحافظ على غلافه الجوي بشكل جيد جدًا. ونتيجة لذلك، فقد الكوكب الأحمر أغلب هواءه والماء السائل على سطحه وأصبح بالأحرى مكانًا باردًا. ولعل ذلك قتل أغلب الحياة التي قد تكون قد ظهرت هناك. ورغم ذلك، يُظن بأنه من المحتمل أن ظروف جولديلوكس لا تزال موجودة وتدعم الوجود المستمر لأنواع بسيطة من الحياة في مناطق محدَّدة على المريخ.

التاريخ المبكر للأرض

يطلق على الفترة الأقدم لتاريخ الأرض «عصر الهاديان Hadean Era». وهو يمتد من نحو 4,5 مليار سنة حتى ظهور أقدم صخور معروفة، منذ نحو 3,8 مليار سنة. في البداية، أنتج تراكم الحرارة، والقصف الكوني والحرارة الإشعاعية معًا أرضًا منصهرة. ورغم ذلك بدأت الأرض تبرد، عبر ملايين السنين، مع تشتت حرارة التراكم في الفضاء، وأصبحت التصادمات أقل تكرارًا وبدأت حرارة الإشعاع في الانخفاض.

عند نحو 4 مليارات سنة، كانت قشرة صخرية صلبة قد بدأت في التشكل. ولأن الصخور ضئيلة التوصيل للحرارة، بدأت القشرة المنبثقة في عزل الأرض الداخلية عن الفضاء. ونتيجة لذلك، تمت المحافظة على المزيد من الحرارة، وهو ما أدى إلى ارتفاع حرارة الأرض الداخلية. وأدى ذلك إلى حالة ديناميكية مستقرَّة جديدة، وهي ما طوَّر خلالها كوكبنا طرقًا للتخلص من هذه الحرارة، خاصة من خلال ظاهرة البراكين، وربما في وقت متأخر أكثر، بواسطة الصفائح التكتونية أيضًا. ومن ثم ليس من المثير للكثير من الدهشة أن ظاهرة البراكين كانت جامحة خلال عصر الهاديان. في ذلك الوقت، لعل نهار وليل الأرض كان طول كل منهما 12 ساعة بسبب الدوران الأسرع لمحورها.

في البداية، لعل مجمل القشرة كان مماثلًا تقريبًا في المكونات، بينما تغطى بمحيط. وفقط منذ ما بين 2 و3 مليارات سنة، عندما كانت الأرض قد بردت أكثر، حدث فصل واضح بين المساحات الواسعة من الأرض الأخف وقشرة المحيط الأثقل نتيجة

للصفائح التكتونية. تتكون المساحات الواسعة من الأرض من مواد أخف، لأنها تطفو على قمة الصفائح التكتونية، بينما تعتبر القشرة المحيطية مدفوعةً باستمرار تحتها. منذ نحو 2 مليار سنة، لعل عملية الصفائح التكتونية التي نعرفها الآن كانت في حالة تأرجح كامل. وكانت الصفائح المتحرِّكة باستمرار تضرب أو تنزلق بجانب بعضها بعضًا أو تتحرك مبتعدة عن بعضها بعضًا، ما يتسبَّب في ظاهرة البراكين، والزلازل والجغرافيا التي لا تتغير أبدًا. وتتحرك الصفائح التكتونية بسرعة تماثل نمو ظفر الإنسان. لكن هناك اختلافات مهمة. بينما يتسع المحيط الأطلسي حاليًا بما بين 10 و20 ملليمتر فقط سنويًا نتيجة امتداد أرضية البحر، ينمو «صعود المحيط الهادي الشرقي» في المحيط الهادي الجنوبي» بشكل أسرع بأكثر من 150 ملليمتر سنويًا[25].

تبعًا لوجهة النظر النموذجية، لعل الغلاف الجوي الثانوي الأولي للأرض كان يتكوَّن في الغالب من ثاني أكسيد الكربون بالإضافة لبعض الغازات، بما في ذلك النتروجين وثاني أكسيد الكبريت والماء، بينما كان ضغطه عند مستوى البحر هائلًا، نحو 150 مرة من قيمته اليوم[26]. ولعل الغلاف الجوي المبكر لم يكن يحتوي على أي أوكسجين حر. وبينما كانت الأرض تبرد والشمس لا تزال خافتة، لعل الكميات الغزيرة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد أدت إلى ظاهرة الاحتباس الحراري. ولعل هذا قد حافظ على سطح الأرض دافئًا بدرجة كافية، بحيث ظلَّت أي مياه موجودة على السطح سائلة.

ربما يكون أفضل وصف للتطور بعيد المدى لأحوال سطح الأرض القول بأن بداية متَّسقة بالأحرى جاءت بعد نطاق ظروف أكثر تميزًا إلى حد كبير، ما أوجد بالتالي الكثير جدًا من المناطق، كلها بمميزاتها الخاصة. ومن المثير أن هذا الوصف العام يصور أيضًا تمامًا تاريخ الكون، وتاريخ الحياة وتاريخ البشر. وبرغم ذلك، ظلت ظروف الأرض دائمًا في حدود معينة تمامًا. لم تصبح أبدًا شديدة البرودة بحيث يتجمَّد كل الكوكب للأبد، أو شديدة الحرارة بحيث يتبخَّر كل الماء في الفضاء. ويضاف إلى ذلك، لم يرتجّ كوكبنا بسبب صدامات سماوية، بما في ذلك الإشعاع القادم من السوبرنوفا، إلى الحد الذي يؤدي إلى دمار كل الحياة. ولقد سمحت ظروف جولديلوكس الخاصة هذه على سطح الأرض بأن تبقَى الحياة وتزدهر عبر مليارات السنوات.

الحياة خاصة جدًا

لا يزال أصل الحياة يتميَّز أساسًا بأنه مجهول في العلم، ولا يُحتمل أن يفسِّره الكثير جدًا من الجهود العلمية. المشكلة الكبرى في البحث عن نموذج لظهور الحياة بالفعل، وهو الأكثر ترجيحًا، أن هذه العملية استغرقت ملايين السنين. وأن الفترة الزمنية الطويلة من الصعب جدًا محاكاتها في المختبر.

وثار الجدل غالبًا حول أن ظهور الحياة لعله كان من غير المرجَّح حدوثه، لو أنه قام فقط على لقاءات بالمصادفة بين الذرات والجزيئات. ومن ثم، لعل العملية التي قادت إلى الحياة كانت بالضرورة نتيجة لعدة عمليات مقيَّدة وموجَّهة إلى حد كبير – أغلبها لم تتم معرفته حتى الآن. وهذا يتضمن حقيقة أن روابط كيميائية معينة مرجَّحة أكثر من غيرها في التشكل. ويضاف إلى ذلك، لعل جيولوجيا الأرض قد أتاحت ما يكفي من لبنات البناء، وتدفقات الطاقة والظروف المحفِّزة التي أدت إلى الحياة. لكن لعله كان من الممكن أيضًا أن الكميات الضخمة من الجزيئات التي تكوَّنت منها الحياة في النهاية قد ظهرت في مكان آخر في مجرَّتنا، بينما انهمرت على كوكبنا خلال ملايين كثيرة من السنوات، وبذلك أتاحت حصة مناسبة من لبنات البناء الضرورية.

مقارنة بالمجرات، أو النجوم أو الكواكب، حتى أضخم أنواع الحياة تعتبر بالغة الصغر. ورغم ذلك، كما رأينا في الفصل الثاني، تخلق الحياة كثافات قوة بالغة الضخامة أكثر بكثير من الأشياء فاقدة الحياة. بينما تصل كثافة قوة شمسنا في الوقت الراهن إلى نحو 2 x 10 -4 وات/ كج فقط، فإن الكواكب الراهنة، على سبيل المثال، تتعامل مع نحو 0,9 وات/ كج، بينما تفعل الحيوانات ما هو أفضل أيضًا، نحو 2 وات/ كج. من الواضح أنه، بعكس النجوم، تستطيع الحياة توليد كثافات طاقة أعلى بكثير بينما تبقى في الوقت نفسه عند ظروف جولديلوكس معتدلة جدًا.

لذلك يمثِّل ظهور الحياة ظهورًا لآلية جديدة تمامًا لإحراز تعقُّد أكبر. وفي ما لا يشبه النجوم والمجرات، لا تزدهر أنواع الحياة لأنها تستخدم طاقة تعود إلى إمدادات بالمادة والطاقة مخزَّنة فيها هي نفسها. بل بالعكس، تحتاج كل الكائنات الحية إلى تدفقات صنبور مستمر من المادة والطاقة مما يحيط بها للمحافظة على نفسها وللتكاثر، إذا كان ذلك ممكنًا. ليس هذا تبصّرًا جديدًا. فبالفعل صرَّح عالم الفيزياء النمساوي لودفيج بولتزمان أن كل الحياة هي نضال من أجل الطاقة المجَّاني[27]. يضاف إلى ذلك، تنجز

المركبات الكيميائية الحيوية الناتجة عن الخلايا وظائف بقاء الكائن الحي. مثل هذا المستوى المرتفع من التنظيم لم تتم ملاحظته أبدًا في المادة غير الحية.

كل هذا ممكن، في المقام الأول، بفضل المعلومات المخزَّنة في الجزيئات الحيوية. وتحتوي كل أنواع الحياة على معلومات وراثية، وهي التي تتحكَّم في تكاثرها الخاص إضافة إلى عمليات توليد الطاقة واستهلاك الطاقة، المعروفة معًا بأنها «الأيض». كل هذا يحدث داخل الخلايا، والتي يمكن اعتبارها لبنات بناء الحياة. وتتكون كل الكائنات الحية من خلايا. ويأتي الكثير من أنواع الحياة على هيئة خلايا فردية، بينما تتكون الكائنات الحية الأكثر تعقدًا، مثلنا، من الكثير جدًا من الخلايا تتجمع معًا. الخلايا أغشية صغيرة، في داخلها كل الجزيئات المهمة لإنتاج، والمحافظة على، ما هو ضروري للبقاء والتكاثر. ويتضمن ذلك الجزيئات الحاملة لمعلومات الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين (الدنا) والحمض النووي الريبوزي (الرنا). لا تحمل هذه الجزيئات المعلومات فقط لكنها تنقلها أيضًا إلى البنى الجزيئية الأخرى، بينما تنظم الكثير جدًا من الآليات الخلوية.

يقينًا، هناك أيضًا فيروسات. وتتكون هذه الكائنات الحية من معلومات على هيئة جزيئات دنا أو رنا، وهي مكسوَّة بالبروتينات. ولأن الفيروسات ينقصها أي نوع من الأيض، فإن عليها أن تعتمد دائمًا على خلايا لكي تتكاثر. بالفعل، تستولي هذه الفيروسات على هذه الآليات الخلوية لأغراضها الخاصة. وعندما تفعل ذلك، فلعل الفيروسات تلعب دورًا رئيسيًا في التطور بأن تدخل معلوماتها الوراثية في تلك الخاصة بالكائنات الحية الأخرى، بينما قد تتبادل وتنقل جينات عبر حدود الكثير جدًا من الأجناس إلى حد تم تفسيره فقط في الوقت الحالي[28].

مسألة كيفية تعريف الحياة لم تُحَلّ حتى الآن بشكل كافٍ. والآن، يوجد الكثير جدًا من تعريفات الحياة، وهو ما لن تتم مناقشته هنا. ومع ذلك، بممارسة المقاربة التي يناصرها هذا الكتاب، قد يكون من الممكن تعريف الحياة بطريقة تحل الكثير، إن لم يكن كل، من هذه القضايا. وأقترح من ثم تعريفًا للحياة كما يلي[29]:

> «نظام يحتوي على برنامج وراثي لتحديد وتوجيه آليات جزيئية تستخلص بشكل فاعل المادة والطاقة من البيئة، والتي بمساعدتها تتحول المادة والطاقة إلى لبنات بناء للمحافظة على وجودها الخاص والتكاثر إذا أمكن».

داخل الخلايا، يتم تصنيع الكثير جدًا من الجزيئات الحيوية، وأكثرها أهمية هي البروتينات. ويتم صنْع ذلك باستخدام معلومات مشفَّرة في الدنا والرنا. تعمل البروتينات بطرق كثيرة مختلفة. وأكثر وظائفها أهمية هو تحفيز تفاعلات كيميائية لا يمكن أن تحدث بأي طريقة أخرى. ويطلق على هذه البروتينات «الأنزيمات». ويمكن لهذه الجزيئات الحيوية أن تُسرع التفاعلات الكيميائية بالإقلال من حواجز الطاقة التي تمنع حدوث التفاعلات عند درجات الحرارة والضغوط المعتدلة التي تتميز بها الحياة. بعبارة أخرى، إن الوظيفة الأكثر أهمية للأنزيمات هي إتاحة ظروف جولديلوكس تسمح بحدوث هذه التفاعلات بالإضافة إلى تنظيمها. وهذا ما تفعله الأنزيمات أيضًا من الناحية الأساسية، على سبيل المثال، في المنظّفات الحديثة، أي بتحطيم الجزيئات العضوية (البقع) التي تصعب إزالتها بأنواع الصابون الأكثر تقليدية. إنما الأنزيمات لا يمكنها فقط تحطيم الجزيئات لكنها تقوم بتجميعها، بينما يمكنها أيضًا تنظيم سرعة التفاعلات الكيميائية. داخل الخلايا، تحدث سلاسل طويلة ومعقدة من التفاعلات الكيميائية بمساعدة الكثير جدًا من الأنزيمات المختلفة. بالإضافة إلى التكاثر الخاص بالخلايا، تتضمن هذه التفاعلات استخلاص المادة والطاقة من الخارج، واستخدام المادة والطاقة في تصنيع الجزيئات الضرورية للبقاء، وإفراز المواد المطروحة من الجسم ومعالجة، في بِنى الخلية الأكثر تعقيدًا، المعلومات في الشبكات العصبية.

بمصطلحات عامة، فإنه بظهور الحياة ازداد كل من عدد وتشكيلة لبنات البناء. والأمر نفسه حدث مع الروابط والتفاعلات بين وخلال لبنات البناء، بينما أصبحت ترتيبات لبنات البناء أيضًا أكثر أهمية كما لم تكن من قبل. ونتيجة لذلك، يبدو أنه من المناسب القول بأنه مع بداية الحياة، ظهر مستوى جديد من التعقد الأكبر إلى حد بعيد.

ولكي توجد وتتكاثر، كان على الحياة أن تستخرج بفاعلية تدفقات المادة والطاقة من الخارج نفسه على أساس دائم. ولأن هذه الموارد محدودة على الأرض الطيبة، كان هذا يعني بالضرورة على المدى الطويل تنافسًا على الموارد. ويمثِّل هذا التبصّر أساس نظرية تشارلز داروين وألفريد راسل والاس عن التطور البيولوجي، الذي يمكن تلخيصه باعتباره تنافسًا من أجل تدفقات المادة والطاقة في نوعين من ظروف جولديلوكسٍ المحددة. تتضمن المجموعة الأولى من ظروف جولديلوكس كل تأثيرات الأنواع، كلٌ منها على الآخر. بأن تساعد بعضها بعضًا، بأن تكون موجودة هناك فحسب، بالتنافس على الموارد،

أو بافتراس بعضها بعضًا أو بتلويث البيئة. والمجموعة الثانية من ظروف جولديلوكس تتوافر بالطبيعة غير الحية المحيطة والتي تتأثر، بدورها، بكلٍ من الحياة والطبيعة غير الحية. بمرور الزمن، أنتجت هذه العملية نظامًا ذا تعقُّد متزايدٍ ودائم التغير من ظروف جولديلوكس على سطح الأرض، والذي من خلاله بقيت هذه الأنواع التي نجحت في جمْع ما يكفي من المادة والطاقة لكي توجد وتتكاثر، بينما حدث انقراض لكل البقية.

وكما يؤكد إريك جانتش، فإن ظهور المعلومات البيولوجية المشفَّرة في الجزيئات والتي تنتقل عبر الأجيال فتحت الطريق أمام احتمال عمليات التعلم. وبكلمات جانتش[30]:

«أصبح هناك بُعد جديد للانفتاح لأنه من خلال المعلومات، فإن الخبرة المتراكمة للكثير من الأجيال ربما تكون قد انتقلت من شكل إلى آخر. وأينما كانت البنية الكيميائية المشتتة (بنية باستخدام تدفقات المادة والطاقة للمحافظة على نفسها) قادرة فقط على التطور من جنين إلى بالغ، على تطوّر فرديتها الخاصة، وتحددت ذاكرتها بالتجربة الحادثة في مجرى وجودها، لعل النشوء والتطور النوعيين (تاريخ شعبة كاملة من الكائنات) قد أصبح فاعلين الآن. في البداية، لم تكن شجرة الأسلاف شجرة، ولكن سلسلة نسب مفردة نحيفة. وتم نقل تجربة الأجيال المبكرة بالإضافة إلى التقلّبات والتطور بشكل رأسي، وهو ما يعني هنا عبر محور الزمن. هذه المرة استطاع هذا الربط جعل تطوُّر تعقُّد أكبر ممكنا أكثر مما يمكن تحقيقه بواسطة النشوء والتطور النوعي لمنظومات المادة».

باختصار، بمرور الزمن، أصبحت عملية التعلم ممكنةً بالمعلومات المخزَّنة في الجزيئات الحيوية التي فضلت ظهور تعقد أكبر بكثير من المستويات التي تم بلوغها سابقًا بواسطة الطبيعة غير الحية.

ظهور الحياة

يُظن بأن أنواع الحياة سليلة سَلَف مشترك مفرد. وفي حين يعيش الآن الكثير جدًا من الأنواع المختلفة في كل بقعة وشقٍّ تقريبًا من كوكبنا، والتي تتراوح بين أصغر الفيروسات حتى أضخم النباتات والحيوانات، تستخدم كل هذه الأنواع من الحياة عمليات كيميائية حيوية متماثلة إلى حد كبير[31]. ويتم تفسير ذلك باعتباره دليلًا واضحًا لصالح الأصل المشترك لكل أنواع الحياة هذه.

نحن لا نعرف أين ومتى وكيف ظهرت الحياة للمرة الأولى. والأقوال بأن الحياة تعود عبر الزمن إلى نحو 3,8 مليار سنة، تم الطعن فيها. لكن هناك دليلًا راسخًا على أنها تعود إلى 3,4 مليار سنة على الأقل. وبمعرفتنا بأن الأرض تشكّلت منذ نحو 4,6 مليار سنة، لعله كانت هناك، أو لم تكن، فترة زمنية للتطور الفيزيائي والكيميائي أدى إلى ظهور الحياة المبكرة. بالفعل، نحن لا نعرف حتى ما إذا كانت الحياة ظهرت أولًا على الأرض أو ما إذا كانت قد انتقلت إلى كوكبنا من مكان آخر بأي جُرم سماوي حدث أنه انقضّ على غلافنا الجوي. لو أن الحياة تعود إلى مكان آخر في الكون، لا نعرف متى حدث ذلك، أو أين أو كيف حدث. ورغم ذلك لعل الحياة المبكرة قد تكيّفت بشكل جيد إلى حد كبير مع ظروف الأرض المبكرة، ويبدو من المرجّح أن الحياة ظهرت تلقائيًا على كوكبنا.

لو أن الحياة ظهرت على الأرض، لا نعرف ما إذا كان هذا قد حدث فقط مرة واحدة. ولو أن الحياة دخلت الأرض من الخارج، فإننا لا نعرف ما إذا كان هؤلاء الغزاة الأجانب وصلوا لمرة واحدة فقط أيضًا. ولأن كل أنواع الحياة الحالية تبدو أنها تتقاسم سَلَفًا مشتركًا واحدًا، فإن الاستنتاج الذي لا مَرَدَّ له هو أن أي أنواع حياة متنافسة تكون قد نشأت بشكل مستقل على الأرض أو وصلت من الفضاء لم تبق حتى الوقت الحالي. بعبارة أخرى، لم تكن الظروف على الأرض جيدة بما يكفي لبقاء أنواع الحياة البديلة هذه (لو كانت موجودة من الأصل) على المدى البعيد.

لعله قد سبق ظهور الحياة على كوكبنا عملية طويلة من التعقد غير الحيّ المتزايد. ويطلق على هذه العملية عادة «التطور الكيميائي». وتحت تأثير تدفقات المادة والطاقة، مثل ضوء الشمس، والنشاط البركاني، والبرق وربما التحلل الإشعاعي، لعل جزيئات معقدة بشكل متزايد قد تكوَّنت. وأيضًا، لعل هذه الجزيئات وصلت من الفضاء الخارجي. وعند نقطة محددة في الزمن، لعل عملية ذاتية من التنظيم الذاتي قد شاركت في ذلك، مما أدى إلى ظهور الحياة.

يجب أن يكون وجود الماء السائل الكافي ضرورة مطلقة لظهور الوجود المستمر للحياة، لأن تدفقات المادة والطاقة الضرورية لمؤازرة الحياة لم تكن توجد لولاه. وحتى الآن، فإن توافر الماء السائل وضع حدود جولديلوكس صارمة جدًا لبقاء الحياة والثقافة على كوكبنا. ويضاف إلى ذلك، لعل الكتل الضخمة بما يكفي من الماء السائل،

مثل المحيطات، كان لها بالضرورة تأثير كابح على تقلبات درجة الحرارة الناتجة عن التدفقات المتذبذبة من الخارج، لأنه يمكنها امتصاص كمية كبيرة من الحرارة من دون ارتفاع مصاحب كبير في درجة الحرارة. وأنتج هذا الموقف بالأحرى درجات حرارة وضغوطًا مستقرة، قد تكون ساعدت على بقاء الحياة المبكرة. ليس هذا تبصُّرًا جديدًا بالمرة. بالفعل اقترح تشارلز داروين، في العام 1871، أن الحياة قد تكون ظهرت في «بِركة صغيرة دافئة» تحت شروط خاصة جدًا[32].

السبب الآخر في الظن بأن الحياة نشأت في المحيطات يقوم على حقيقة، أن تركيز الملح الكلي في الخلايا الحية مشابه جدًا لذلك الخاص بالمحيطات المعاصرة (والذي لعله كان مماثلًا في المحيطات القديمة). لو أن تركيز الملح في الخلايا الرائدة كان يختلف جدًا عن الماء المحيط خلال ظهورها، لكانت تباينات الطاقة قد دمَّرت هذه الخلايا المبكرة على الفور تقريبًا. بمرور الزمن، تطوَّرت تباينات الطاقة هذه، خاصة بعد انتقال الحياة من البحار إلى الأرض. ومع ذلك، كانت الحياة قد أصبحت، في ذلك الوقت، أكثر قوة بكثير وكان في استطاعتها تطوير وسائل حماية، وهو ما حمَّى الخلايا في تلك البيئة التي كانت معادية جدًا في البداية.

يطلق على السيناريو المرجَّح أكثر من غيره في الوقت الحالي لبداية الحياة «عالم الرنا». وهو يتكوَّن من تشكل ذاتي لجزيئات الرنا، التي كان في استطاعتها أن تحمل المعلومات وتحفِّز تفاعلات مهمة، بما في ذلك تكاثرها الخاص. ولعل هذا التجميع لجزيئات الرنا قد أنتج أول خلايا حية قادرة على العيش. ومن بين الأدلة التي تدعم هذه الفرضية أن جزيئات الرنا الآن موجودة في كل أشكال الحياة وبالكثير من الأحجام المختلفة. يضاف إلى ذلك، أن إحدى لبنات بنائه الأساسية، الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (يتم اختصاره عادة ب ATP)، تستخدمه كل الخلايا باعتباره حامل الطاقة الرئيسي لها[33].

لعل المحيطات قد أتاحت تدفقات المادة والطاقة التي سمحت للحياة بأن تبدأ، وخاصة خلال البراكين تحت البحر، والتي كان منها الكثير، لأن القشرة العازلة كانت قد قامت بتدفئة الأرض. وحتى في أيامنا هذه، يمكن العثور على مواقد سوداء في كثير من المواقع في المحيطات. ويطلق عليها «مواقد سوداء» لأنها تبث أدخنة سوداء. وتبعًا لإريك شايسون، فإنها تمد بأكثر من الطاقة الكافية للإبقاء على الحياة المبكرة، بما

يقترب من 50×10^{-4} وات/ كج. وتولّد المواقد السوداء الحديثة، بالعكس، كثافات قوة تصل فقط إلى 10^{-4} وات/ كج، وهو ما يظل كافيًا للمحافظة على استمرار أنواع الحياة الحديثة التي تتغذّى عليها[34]. في كتابه عام 2005 «الطاقة: محرّك التطوُّر»، يسمِّي العالم الهولندي فرانك نيل Frank Niele نظام الطاقة الأول هذا «نظام حب الحرارة»[35].

اقترح عالمَا البيولوجيا المجهرية أوجين كانان Eugene Canaan ووليام مارتن William Martin في عام 2005 أن الحياة المبكرة لعلها قد تشكّلت في بنى سليكات فقاعية ذات مسام للمواقد السوداء الدافئة قليلًا. بين أعداد كبيرة من الفقاعات الصغيرة المحمية نسبيًا من هذا النوع، والتي يصل حجمها إلى حجم الخلايا تقريبًا، لعل الرنا وبعض الجزيئات الأخرى قد بدأت في التفاعل. ولعل الجدران ذات المسام لبنى السليكات الفقاعية هذه قد عملت كمحفّزات، وبذلك أتاحت إنتاج جزيئات أكثر تعقدًا[36]. وعندما تدفقت هذه الفقاقيع المليئة بالحياة، لعلها قد أفرزت فقاقيع صغيرة في المحيطات والتي لعلها كانت محاطة بطبقة من البروتينات والليبيدات. ولعل أيضًا أن هذه العملية قد استمرت لملايين كثيرة من السنوات من دون توليد حياة. ورغم ذلك فإنه حتى لو أن هذا حدث بنجاح مرة واحدة فقط، يمكن لهذه الفقاعة بالغة الصغر أن تصبح أول خلية حية. والسبب الأساسي لاقتراح مثل هذه الآلية أتى من ملاحظة أنه في أيامنا هذه تشترك ثلاث مجموعات تصنيفية رئيسية للتطور: البكتيريا البدائية، ووحيدة الخلية والخلية حقيقية النواة، وكلها تشترك في آليات جزيئية رئيسية، بينما أغشية خلاياها وطرق استنساخها للدنا مختلفة. ولعل أنواع الحياة المبكرة قد ظهرت، من ثم، من دون دنا أو من دون أغشية خلية خاصة، وهو ما تطور لاحقًا بشكل منفصل.

يتضمن ظهور الحياة ظهور نُظُم المادة التي امتصت تدفقات الطاقة للوصول إلى مستويات أعلى من التعقد. وبمرور الزمن، لعل هذه العملية قد تغيرت من امتصاص سلبي إلى امتصاص إيجابي. وعند نقطة زمنية معينة، طوّرت الحياة المبكرة آلية سمحت باستخراج المادة والطاقة بشكل فاعل من بيئتها، وهو ما تفعله كل أنواع الحياة في الوقت الراهن. كان هذا تحوّلًا أساسيًا. وحيث إن الحصول على تعقد أكبر يتطلب كميات ضخمة من المادة والطاقة، وجهدًا كبيرًا ومتواصلًا، يتساءل المرء عن سبب أن الحياة لم تتوقف وتختفي نتيجة لذلك. الاستنتاج الذي لا مهرب منه هو أنه خلال

ظهورها، كان لا بد للحياة أن تطوِّر محركًا مدمَجًا له من القوة ما يكفي للمحافظة على نفسها حية. وليس من المعروف بالنسبة لي ما تتكون منه الآلية الكيميائية الحيوية لهذا المحرك[37]. ولا من الواضح حتى الآن ما إذا كان ظهور الحياة، مع شروط البدء المناسبة، كان أمرًا لا مفر منه (مثل ظهور المجرَّات، والنجوم والكواكب)، أو ما إذا كان نتيجة لتأثير مصادفة غير مرجَّحة.

ومثل العناصر الكيميائية الأكثر ثقلًا التي ظهرت خلال انفجارات السوبرنوفا، والتي امتصت أيضًا طاقة خلال تكوينها، لم تكن الجزيئات الأكثر تعقدًا التي بدأت الخلايا الحية في بنائها لتَظهر من دون امتصاص طاقة، والتي انطلقت من جديد بمجرد تحطُّم هذه الجزيئات. ونتيجة للأنشطة التي لم تتوقف للحياة عبر مليارات السنوات، فضَّل التراكم الذاتي لمثل هذه الجزيئات الحيوية الغنية بالطاقة أماكن لإنتاج أغلب، إن لم يكن كل، أنواع الوقود الأحفوري التي نحرقها في الوقت الراهن[38].

لو أن الحياة قد ظهرت حقًا في البيئة المحمية جيدًا نسبيًا للمواقد السوداء في المحيط، يجب أن تكون قد تكيَّفت مع هذه الظروف من البداية تمامًا. ونتيجة لذلك، يجب أن تكون الحياة المبكرة مستقلة تمامًا عن الطاقة الخاصة بحرارة باطن الأرض التي انطلقت من أعماق داخل الأرض. ورغم ذلك فإنه بمرور الزمن، تعلمت الحياة كيفية استخراج الطاقة من بيئتها بطرق كثيرة، والأكثر أهمية من الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من نجمنا المركزي. وحرَّر حصد ضوء الشمس الحياة من عبوديتها للمواقد السوداء وسمح لها بسكنى المحيطات، واليابسة والغلاف الجوي. أما عن كيفية إنجاز الحياة لهذه الخدعة بنجاح، فهذا ما سوف نناقشه في الفصل التالي.

الفصل الخامس

الحياة على الأرض

النطاق المتّسع للتعقُّد

الحياة والطاقة والتعقد

يمكن تلخيص تاريخ الحياة خلال الأربعة مليارات سنة الماضية باعتباره تطورًا بيولوجيًا في تفاعل مستمر مع بيئتها الكوكبية والكونية. في البداية، كانت هناك فقط أنواع بسيطة من الحياة. ورغم ذلك حدث أن تميَّزت الحياة عبر الزمن إلى طيف واسع من الأنواع البيولوجية. وبينما استمرت أعداد كبيرة من الكائنات المجهرية في الوجود، بدأت أيضًا أنواع من الحياة أكثر تعقدًا في الظهور. ورغم أن تاريخ الحياة قسمته خمسة أحداث انقراض ضخمة أدت إلى انخفاض مؤقّت حاد في تعقد الحياة، كانت النزعة على المدى الطويل نحو تشكيلة من الكائنات الحية تراوحت بين أنواع الحياة بالغة البساطة إلى أنواع متزايدة التعقد[1].

على عكس الطبيعة منعدمة الحياة، يضمن التعقد الأكبر للحياة الحَصْد الفعال للمادة والطاقة. وكانت تكلفة هذا الحَصْد الفاعل طاقة أيضًا. وبالتالي، فإن الاصطدام بتوازن بين تكاليف ومنافع التعقد بدأ يلعب دورًا بمجرّد أن ظهرت الحياة. بالنسبة لأنواع التعقد غير الحية، مثل النجوم، والكواكب والمجرات، فإن هذا التوازن لم يلعب دورًا، لأنها لا تحصد مادة وطاقة بفاعلية. مع ذلك، فإن ظهور أنواع حياة أكثر تعقدًا ارتبط بشدة بهذا التوازن: التكلفة-المنفعة، حيث كانت تكاليف الحصول على تعقد أكبر ليست أكبر من منافع الحصول عليه.

واتجهت هذه العملية، بدورها، إلى مدى كبير بالتنافس بين الأنواع، وهو ما أسهم في تحديد ما كان نافعًا للبقاء والتكاثر، وما لم يكن كذلك. على سبيل المثال، كانت الحيوانات المعقدة التي ظهرت منذ نحو 540 مليون سنة قادرة بشكل كافٍ على الإمساك بفريستها والدفاع عن نفسها، مقارنة بمنافسيها. ومن الواضح، أن تكلفة تعقُّدها الجديد كانت كافية للاتزان مع نفع الحصول عليه.

ولأن الأهمية الكبرى في الحصول على ما يكفي من المادة والطاقة لحماية تعقدها، تعاملت قصة الحياة أولًا مع طرق الحصول على تدفقات المادة والطاقة هذه بالإضافة إلى استخدامها بشكل ملائم، مع محاولة ألا تصبح مصدر مادة وطاقة للكائنات الحية الأخرى. ولا تعتبر وجهة النظر هذه جديدة بالمرة وتم التحقّق منها بالفعل منذ عقود. وكل هذه التحليلات التي تمثل استخدامًا ضمنيًا، ومباشرًا أحيانًا، لفكرة أن تدفقات الطاقة خلال المادة في حدود جولديلوكس معينة تجلب مستويات متعدِّدة من تعقد أكبر[2].

بعكس التطور الكوني، الذي تباطأ بعد بداية نشطة جدًا، كان التطور البيولوجي يتسارع. ولعل الحياة قد ظهرت منذ نحو 3,5 مليار سنة (قبل الآن). وظلت بالأحرى بسيطة حتى 2 مليار سنة قبل الآن، عندما تكونت أول خلايا معقدة. واحتاج الأمر إلى 1,5 مليار سنة أخرى قبل أن تبدأ الكائنات الحية المعقدة في الانتشار بدرجة كبيرة، منذ نحو 540 مليون سنة. ومنذ ذلك الوقت، يبدو أن عدد الأجناس البيولوجية قد نمى بسرعة[3]. ويمكن ملاحظة تسارع مماثل في التاريخ البشري، والذي تزايدت خلاله أعداد السكان والمهارات التقنية بشكل أسّي.

والسبب الجوهري وراء تزايد كل من التطور البيولوجي والتاريخ البشري يمكن العثور عليه في حقيقة أن كليهما كانت تقوده عمليات التعلم. وكانت عمليات التعلم هذه تتعلّق بالدرجة الأولى بحصد ما يكفي من المادة والطاقة بالإضافة إلى حماية التعقد الخاص. وكان أحد الأجزاء المهمة في عملية التعلم هذه إعادة تقييم دائمة للتوازن تكلفة-منفعة للتعقد تحت ضغط عملية داروين ووالاس للانتقاء الطبيعي (أو الاستبعاد غير العشوائي). وتعمل هذه العملية باستبعاد كل من البنى غير المفضلة لدى الأجناس ومهاراتها الثقافية غير الكافية. لأن المهم في التطور البيولوجي هو ببساطة ما إذا كان جنس ما قادرًا على التكاثر بنجاح، أم لا. في الحالة الثانية، يتم استبعاده، بينما يبقى في الحالة الأولى.

ومن ثم يتم أحيانًا تسمية أنواع الحياة «نُظُم التكيُّف المعقدة». ولقد صاغ هذا المصطلح موراي جيل-مان ومساعدوه في معهد سانتا في، وهو معهد أمريكي يختص بما هو بين الأفرُع العلمية ومكرَّس للبحث في التعقد[4]. وبعكس الطبيعة غير الحية، تنزع كل أنواع الحياة إلى التكيف مع العالم الخارجي، بينما تبحث أيضًا غالبًا عن تكيف العالم الخارجي معها هي نفسها. بالنسبة للحياة، يحدث التكيف لتغيرات الظروف بالدرجة الأولى من خلال عملية استبعاد غير عشوائية.

ونتيجة لكل عمليات التعلّم هذه، اتصف كلّ من التطور البيولوجي والتاريخ البشري بآليات ارتجاع إيجابي. ويقوم التطور البيولوجي على التعلم الوراثي، وهو «عتاد hardware» في جزيئات متخصِّصة، بينما يحدث التعلم الثقافي في المخ والخلايا العصبية، ويكون غالبًا على هيئة «برمجيات software». وعلى المدى الطويل، تكون لعمليات التعلم هذه صفة التعزيز الذاتي، طالما تفضِّل حصد ما يكفي من المادة والطاقة الضروريتين للبقاء والتكاثر والمحافظة على التعقد الخاص. وبالتالي، يُظهر كلًا من التطور البيولوجي والتاريخ البشري نزعات أسية متماثلة.

بمجرد ظهور المعلومات البيولوجية، تبدأ أيضًا إمكانية وجود معلومات بيولوجية غير صحيحة. ونشاهد، في الوقت الراهن، نوعين على الأقل، وكلاهما مرتبط باستخدام المادة والطاقة. يتكوَّن النوع الأول من أجناس بيولوجية تستخدم الأيض الخلوي لأجناسٍ أخرى من أجل توالدها الخاص. وهذا ما تفعله الفيروسات. فهي تحقن معلوماتها الوراثية الخاصة في الخلايا المضيفة. وتستخدم هذه المعلومات الأجنبية الأيض الخلوي لتكوين نُسَخ جديدة من نفسها، ومن ثم تستنزف قدرة الخلية على المحافظة عل استمرار تعقدها. والخيار الثاني يتكون من محاولة تجنُّب مصير مصدر مادة وطاقة شخص آخر بتغيير المظهر الخارجي للفرد. والكائنات الحية إما تحاكي شكل أو ألوان الكائنات الحية التي تحبها الكائنات التي تفترسها بشكل خاص أو تتكيَّف مع تكتيكات التمويه.

يستلزم التعقد الأكبر أيضًا مخاطرة أكبر بالزوال. ونتيجة لذلك، قد لا تعيش أنواع الحياة الأكثر تعقدًا مدة طويلة جدًا. وقد تكون تلك هي حالة كلّ من الأفراد والجنس في مجمله. ويُضاف إلى ذلك، لقد أدى التطور البيولوجي، مثله مثل التاريخ البشري، تغيرات حادة في البيئة الطبيعية. ولقد حفَّز كل ذلك الظهور المستمر -بشكل غير

مسبوق- لأجناس جديدة بالإضافة إلى زوال أخرى. وبهذه الطريقة، كان التطور البيولوجي وبيئته الكوكبية في حالة تفاعل طالما كانت الحياة موجودة على الأرض[5].

لكي تبقى وتزدهر، تحتاج كل أنواع الحياة إلى استخراج المادة والطاقة مما يحيط بها على أساس دائم. وبينما يتغذّى الكثير من الأجناس البيولوجية على أجناس أخرى، هناك بالضرورة أعداد كبيرة من الكائنات الحية التي تستخرج مادتها وطاقتها من بيئة غير حية. وتتيح هذه الأجناس، وهي في أغلبها كائنات مجهرية ونباتات، كل المادة والطاقة لبقية الحياة. بعبارة أخرى، إن كل النظم المتكيِّفة المعقَّدة (الحياة) تتزود بالطاقة في النهاية بنُظم معقدة غير متكيفة (الطبيعة غير الحية).

وتميل الكائنات الحية الأكثر تعقدًا إلى توليد كثافات طاقة أكبر. بعبارة أخرى، يوضِّح التطور البيولوجي ميلًا نحو استخدام تدفقات مادة وطاقة متزايدة بواسطة جزء كبير من أنواع الحياة، وهو ما أصبح متشابكًا بشكل واضح بما يكفي للتعامل مع تدفقات مادة وطاقة أكبر من دون أن تقوم هذه التدفقات بتدميرها. ولا بد أن ذلك يعني أن مثل هذه الكائنات، بما فيها نحن، قد أوجدت ظروف جولديلوكس داخل نفسها تسمح لها بأن تتعامل مع تدفقات المادة والطاقة الأكبر هذه من دون أن تدمّرها هذه التدفقات بشكل يتعذّر إصلاحه[6].

بينما تميل الكائنات الأكثر تعقدًا إلى توليد كثافات طاقة أكبر باستمرار، وتستطيع بعض الكائنات المجهرية توليد تدفقات طاقة أكبر بكثير من خلال المادة لفترات زمنية قصيرة[7]. على سبيل المثال، عندما تتم زراعتها في أحوال مثالية، يمكن للجرثوم الآزوتي Azotobacter أن يصل إلى كثافات طاقة حتى 10آلاف وات/ كج (يصل البشر في المتوسط إلى 2 وات/ كج فقط). في هذه الظروف يحاول الجرثوم الآزوتي أن يستنسخ نفسه بأسرع ما يمكن، وربما كل 20 دقيقة أو ما يقرب من ذلك. وعندما يفعل ذلك، فإنه لا يحافظ فقط على تعقده الخاص لكنه يستنسخ نفسه بأسرع ما يمكن. ونظرًا للموارد المحدودة المتاحة، فإن مثل هذا الأيض بطاقة عالية استثنائيًا يمكن الوصول إليه فقط في فترات زمنية قصيرة. وخلال أغلب وجودها، يكون على مثل هذه الكائنات أن تجعل الأهداف تتلاقى بمساعدة إمداد بالطاقة أكثر محدودية. من الواضح، أن هذه ـائنات المجهرية معدة لكي تحصد الطاقة بأسرع ما يمكن، بينما يكون المكسب جيدًا.

ويعتمد البشر، على العكس، على استراتيجية بقاء مختلفة بالأحرى، وهي تتضمن محاولات لضمان إمداد مستقر بالطعام، بالإضافة إلى ابتكار نظم تخزين طاقة، وكليهما داخل أجسامهم وفي مكان آخر في مواقع محمية. من هذا الجانب لا يُعدّ البشر، بالطبع، استثنائيين. ولقد طوَّر الكثير من الحيوانات الأخرى، بما فيها النحل والسنجاب، نظم تخزين مماثلة. وفي الطبيعة غير الحية، على العكس، فإن نظم تخزين المادة والطاقة هذه لم تتم ملاحظتها أبدًا. ويبدو أن تخزين المادة والطاقة لاستخدام لاحق استراتيجية جديدة، وهي تستخدم على وجه الحصر بواسطة نظم تكيف معقدة. ولعله عندما تصبح الحياة أكثر تعقدًا، فإن نظمها للتخزين تصبح أيضًا أكثر تعقدًا. ومثل هذه النزعة واضحة في تاريخ البشر، أيضًا. ويمكن تفسير نظم التخزين هذه باعتبارها ابتكارًا لظروف جولديلوكس لتسهيل تأسيس تدفقات مادة وطاقة غير منتظمة.

خلال التطور البيولوجي، لعله كانت هناك نزعة نحو كفاءة طاقة أعلى، وهو ما يعني الوصول إلى تعقد أكثر بالموارد نفسها. ولعلنا نتوقع كفاءة ديناميكا حرارية أعلى لكي تتطوَّر بشكل خاص في ظروف أصبحت فيها الموارد نادرة. وهناك بعض الأدلة لدعم هذه الفرضية. يبدو أن الكثير من البكتيريا، على سبيل المثال، قد تطوَّرت نحو كفاءات ديناميكية حرارية أعلى نتيجة للتنافس. ومع ذلك فإنه رغم أن الكثير جدًا من الدراسات تم إنجازها حول كفاءة الطاقة لأنواع حياة معينة، لا يبدو أن أيًا منها قد كتب حتى الآن تحليلًا منهجيًا حول كفاءة الطاقة خلال تاريخ الحياة. ونقص وجهة النظر الشاملة هذه يثير الدهشة، إذا عرفنا أن دراسة الديناميكا الحرارية قد تطورت بالفعل في القرن التاسع عشر. ومن الواضح، أنه هنا يوجد تحدٍّ لمزيد من الأبحاث[8].

ونتيجة النزعة المحتملة نحو كفاءة طاقة أعلى، لعل الكائنات الحية قد وجدت حلولًا مماثلة. على سبيل المثال، قارنت دراسة للعالمة الروسية أناستاسيا ماكاريفا Anastassia Makarieva وزملائها، نُشرت في 2008، بين متوسط معدلات الأيض المتبقية (كثافات الطاقة الساكنة) لنحو 3000 من الأجناس المختلفة. من المثير أن هذه المعدلات تغيَّرت أربع مرات فقط، رغم أن أوزان أجسادها تختلف بنحو 1020 ضعفًا من أصغرها إلى أكبرها. وكان أكبر كائن قاموا بدراسته هو الفيل (1 وات/ كج)، بينما كان الأصغر هو البكتيريا (4 وات/ كج). ولأن أغلب معدلات الأيض لدى الكائنات تجمَّعت بين 1 و10 وات/ كج للكتلة، اقترح الباحثون أنه قد يكون هناك معدل أيض

مثالي يقع في هذا النطاق. ولعل الكائنات الحية التي تقع قريبة من هذه القيمة تعتبر هي الأنسب[9]. من الجدير بالملاحظة، أن البشر، بمتوسط كثافة القوة 2 وات/ كجم، قد يكونون في منتصف هذا النطاق تمامًا (وتم تعريف المنتصف بأنه حيث تتجمَّع أغلب الكائنات الحية).

إن الوصول إلى كفاءة أعلى له ثمن، وهو الحاجة إلى تعقُّد أكبر. على سبيل المثال، أدت الجهود الحالية للإقلال من استهلاك السيارات للوقود إلى تصميم أكثر تعقُّدًا للمركَّبات الهجين. وظهر موقف مماثل عندما تعلَّمت الكائنات المجهرية استخدام الأكسجين للاستغلال الأكثر كمالًا للطاقة المخزونة في الجزيئات الحيوية. وتطلَّب ذلك أيضًا كيميائيًا حيويًا أكثر توسُّعًا (وبالتالي أعلى تكلفة)[10]. ومن الواضح، أن التعقد الأكبر، الضروري للحصول على كفاءة طاقة أعلى، يكلّف طاقة أيضًا، وبذلك قد يضع حدًا لمثل هذه الجهود.

ويعتمد مستوى التعقد الذي يمكن الوصول إليه بدرجة كبيرة على نوع الطاقة التي يمكن حصدها. من هذا الجانب، قدَّم المؤرِّخ الأمريكي جوزيف تاينتر Joseph Tainter وزملاؤه تمييزًا بين نوعين من الطاقة المتاحة، الكسب العالي والكسب المنخفض للطاقة. وبينما يمكن التأكيد على أنهما، في الواقع، طرفي امتداد للطاقة المتاحة، يعتبر الكسب العالي للطاقة مورد طاقة مركزة يمكن حصدها بسهولة نسبية، بينما لا يكون الكسب المنخفض لمصدر الطاقة مركزًا بدرجة عالية، وبذلك يتطلب المزيد من الجهد لاستغلاله. بعبارة أخرى، بالنسبة للكسب العالي للطاقة فإن عائد الاستثمار يكون مرتفعًا نسبيًا، بينما العكس في حالة الكسب المنخفض للطاقة.

النمط العام الناتج بسيط. وبمجرد أن تحصل الكائنات الحية على مدخل لمصادر الكسب المرتفع للطاقة المركّزة، يمكنها الوصول إلى مستويات تعقد أعلى. ورغم ذلك لا يستمر هذا الموقف مدة طويلة جدًا. بعد فترة، يكون على الكائنات الحية أن تعود إلى استغلال طاقة أقل تركيزًا، وذات كسب منخفض، وهو ما يكلّف أكثر في حصاده، ويقيِّد مستوى التعقد الذي يمكن الوصول إليه. وتبعًا لهؤلاء الباحثين، يمكن العثور على هذا النمط في كلٍ من التاريخ البيولوجي والبشري[11].

لم يكن ظُهور أنواع حياة أكثر تعقدًا عملية سريعة وسهلة، ونتيجة لذلك حدثت هذه التغيرات أحيانًا فقط. ومثل ظهور الحياة نفسها، والذي لعله حدث بشكل نادر فقط،

إن لم يكن مرة واحدة، فإن ظهور الحياة الأكثر تعقدًا كان حادثًا استثنائيًا. ويبدو أن التشكيلة المذهلة للأجناس المعقدة المختلفة التي ظهرت خلال التطور البيولوجي تتناقض مع هذا الميراث المشترك، ورغم ذلك، فإن كل هذه الكائنات التي تبدو مختلفة جدًا تشترك فقط في بضعة نظم بنيوية عامة bauplane أساسية، تساعد على تشكيل كل الأجناس. وهذا يعني أن أنواع الحياة المعقَّدة بالغة الاختلاف أتت من عدد بالغ الصغر من الأجناس البيولوجية المعقدة (والتي، بدورها، تشترك في سَلَفٍ مشتركٍ أخير).

خلال التفاعلات المتبادلة، بدأت عمليات التطور البيولوجي والنطاق الأعرض للكائنات الحية معًا في تشكيل سطح كوكبنا، وعندما فعلت ذلك فإنها أنتجت تغيرًا وظروف جولديلوكس متزايدة بشكل غير مسبوق على سطح الأرض. ويطلق علماء البيولوجيا على مثل هذه الظروف «البيئات الملائمة» عندما يحتلها جنس واحد فقط، بينما تم استخدام المصطلح «مجال حيوي بيئي (نمط معين من المجتمعات البيئية الرئيسية biome)» عندما تشمل هذه المساحات مناطق أكبر يعيش فيها الكثير من الكائنات الحية المختلفة.

والعالِم الأول الذي حدد بشكل منهجي ظروف جولديلوكس للنباتات والحيوانات كان ألكسندر فون هامبولدت. وتتضمن شروطه الحدِّية مساحات تشترك في متوسط درجة الحرارة نفسه، أو ضغط الهواء أو عوامل أخرى تسمح بازدهار أجناس معينة[12]. ورغم أن قلة قليلة من الناس ينتبهون لعمل فون هامبولدت الرائد في الوقت الحالي، فلا يزال قيد الاستخدام كثير من ظروف جولديلوكس التي حدَّدها. وهي تشكِّل، على سبيل المثال، أساس كل تقارير الطقس، بينما يتم استخدامها على نطاق واسع أيضًا في المناقشات الحالية حول تغير المناخ.

بينما كل أنواع الحياة محاطة بعالَم طبيعي لا يتغيَّر أبدًا، احتفظت داخل خلاياها بنظم ديناميكية متّزنة نسبيًا في حالة مستقرة. ومن الواضح أن كل أنواع الحياة قد تعلَّمت المحافظة على ظروف جولديلوكس في خلاياها، والتي تتماثَل بصورة بارعة مع الطبيعة الحية كليًا. وبينما للخلايا البسيطة في الغالب شكل شبه كرويّ، فإن الخلايا لدى الكائنات الحية الأكثر تعقدًا قد تميَّزت إلى كثير جدًا من الأنواع. ولأن الخلايا صغيرة نسبيًا، ولأن الكثير منها يعيش مُعلَّقًا على، أو محاطًا بـ الماء، فإنها لا تتشكَّل بالجاذبية، ولكن بالأحرى بالقوة الكهرومغناطيسية. والجزيئات التي تشكل الطبقات

الخارجية للخلايا تجذب كل منها الأخرى من خلال شحناتها الكهربائية، وتسبب توترًا سطحيًا، وهو الذي يميل إلى إنتاج أصغر الأسطح الممكنة. ولأن السطح الأصغر الذي يحتوي على أكبر جسم ممكن هو الكرة، تميل الخلايا الفردية لأن تتخذ هذه الأشكال. ولأن الجاذبية لا تلعب دورًا رئيسيًا في تشكيل الخلايا، يمكن لداخلها أن يكون بالغ التعقد. ورغم ذلك فبمجرد أن تبدأ الخلايا في التكتل على هيئة تعقدات أكبر، تصبح متأثرة بالجاذبية بشكل متزايد. ونتيجة لذلك، فإن النباتات والحيوانات الأكبر الآن لا يمكن العثور عليها على اليابسة ولكن في المحيطات، حيث يواجه الميْل للطفو الجاذبية بمفعول مضاد.

طوال التطوُّر البيولوجي، كانت كل الكائنات الحية التي بقيت لفترة طويلة معقولة من الزمن تبحث عن تحسين ما تتناوله من مادة وطاقة، أو ما لا يجعلها تضمحل على الأقل[13]. ومثل هذا الموقف مفيد للبقاء عبر الأزمنة القاحلة عندما يكون الطعام نادرًا. ولعله نتيجة لعملية الاستبعاد غير العشوائي، أصبح هذا الموقف إلى حد ما مندمجًا في عتاد الجينات. ورغم ذلك، لو أن الأنواع جنت الكثير جدًا من المادة والطاقة، لكانت قد استنزفت البيئة المحيطة بها. ولعل ذلك كان سيقوِّض وجودها الخاص من الأساس، وسيؤدي إلى انقراضها. ولعلَّها هذه كانت الحالة: فمن خلال مرور الزمن، تم انتقاء أغلب، إن لم يكن كل، الأنواع لكي تحصد قليلًا من المادة والطاقة أكثر مما كانت بحاجة إليه بالفعل، ولكن ليس بالكثير جدًا. إذا كان الأمر كذلك، فإن هذا يجعل المرء يتساءل حول ما إذا كان قد تم دمج عتاد مماثل لدى البشر.

تدفق الطاقة الكوكبية والحياة

يمكن تلخيص تاريخ تدفقات الطاقة الرئيسية على سطح كوكب الأرض خلال الأربعة مليارات سنة الماضية كما يلي: ببطء ولكن بكل تأكيد، انخفض تدفق الطاقة الحرارية لباطن الأرض. وجاء ذلك نتيجة تشتُّت حرارة التراكم الأصلية في الكون، بينما تدهورت أيضًا حرارة النشاط الإشعاعي المنبعثة عن التحلل النووي. وارتفعت الطاقة الشمسية من الخارج، على العكس، بنحو 25 في المائة.

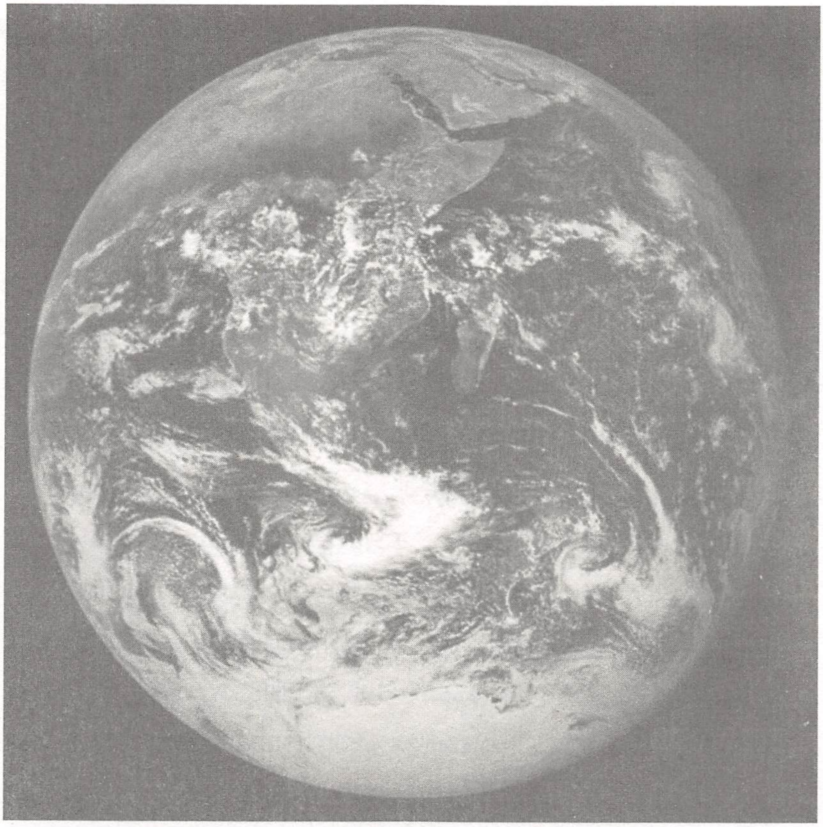
خلال الفترة الزمنية المبكرة، لعل حرارة باطن الأرض وصلت إلى سطح الأرض في كل مكان تقريبًا بكثافة مماثلة. وهذا يعني أنه لم يكن هناك أي اختلافات كبيرة بين المناطق الاستوائية والقطبين. ورغم ذلك بينما بدأ باطن الأرض يبرد، أصبح الإشعاع

الشمسي أقوى. ولأن كوكبنا على شكل كرة، فإن الإشعاع الشمسي يكون أقوى في المناطق المدارية، بينما يكون هو الأضعف بالقرب من القطبين. ونتيجة انخفاض تدفق الحرارة من الداخل وزيادة تدفق الطاقة الشمسية من الخارج، أصبح تدرّج درجة الحرارة على سطح الأرض أكبر، ولا بد أنه قام بتقوية الريح وتيارات الماء من خط الاستواء إلى القطبين وعلى العكس. وأدى تبريد الأرض أيضًا إلى تميّز لقشرة الأرض إلى مساحات كانت نشطة جيولوجيًا بالإضافة إلى مناطق كانت أكثر استقرارًا.

حرّكت تدفقات طاقة حرارة باطن الأرض عملية تكتونية الصفائح: أقسام كبيرة من قشرة الأرض تتحرّك باستمرار نتيجة الانتقال الحراري للغطاء. ويلخّص عالما الطقس توماس جريديل Thomas Graedel وبول كراتزين Paul Crutzen تاريخها كما يلي[14]:

«رغم أن الدليل غير كامل، يُعتقد في الوقت الراهن أن التكتونية تواصلت خلال ثلاث مراحل. حدثت الأولى من نحو 3,8 إلى 2,6 مليار سنة قبل الآن، وخلال ذلك الزمن كان تدفق الحرارة من النشاط الإشعاعي أكبر عدة مرات من قيمته الحالية. ونتج عن تدفق الحرارة الأعلى هذا كثافة أقل، ومزيد من اليابسة القادرة على الطفو، مع انتقال حراري نشيط، والقليل من الطرح (تهدم القشرة المحيطية بتراكب حواف الصفحة القارية subduction)، والكثير من الصفائح الصغيرة نسبيًا التي تصادمت بشكل متكرِّر. وفي المرحلة التكتونية الثانية، والتي حدثت من نحو 2,6 إلى 1,3 مليار سنة قبل الآن، نتج انخفاض تدريجي في تدفُّق الحرارة في تطور القليل من الصفائح الأكبر، ولكن باختلاف ضئيل جدًا بين كثافات وطفو القشرة المحيطية والقارية للسماح بنشاط تكتوني قوي. وفي النهاية، خلال الـ 1,3 مليار سنة الأكثر حداثة، نتج عن انخفاض القدرات على الطفو للقشرة المحيطية بالنسبية للقشرة القارية، انتقال تدريجي إلى عمليات تكتونية الصفائح الحديثة، مع قشرة طرح وتجديد».

نتيجة لتكتونية الصفائح، أصبحت مساحة اليابسة أكبر باستمرار بمرور الزمن، بينما انخفض حجم المحيطات[15]. ورغم ذلك فحتى الآن، تشكل المحيطات نحو 70 في المائة من سطح الأرض، وتترك بالتالي نحو 30 في المائة لكل كتل اليابسة. وإذا رأيناه من الفضاء، يشبه كوكبنا في الغالب كرة مُبتلّة، كما هو موضّح في الشكل (5-1). ولا بد أن نمو القارات عبر الدهور قد قام بتحسين ظروف جولديلوكس للأنواع المحصورة في المياه.



الشكل (5-1): الأرض كما رآها روّاد فضاء أبولو 17. وتأثيرات حرارة باطن الأرض والطاقة الشمسية مرئية بوضوح، بما في ذلك شكل القارات وموقع الصحاري، التي أسهمت في تحديد ظروف جولديلوكس من أجل الحياة. (المصدر:ناسا).

لعل انخفاض حرارة باطن الأرض قد قلل من كلٍ من أعداد ونشاط المواقد السوداء، ومن ثم قلل من فرص بقاء حياة المحيط التي تعتمدُ على تدفقات المادة والطاقة فيه. وفي الوقت نفسه، بدأت الحياة في استخدام تدفقات الطاقة المتزايدة من الخارج. ويعكس هذا التغير في استخراج الحياة للطاقة أن تغير توازن الطاقة على سطح الأرض من المحتمل أنه حدث بالمصادفة. أيًا كان ما اتضح أنه حدث، فمن الجدير بالملاحظة أن الحياة على ما يبدو كانت تتبع تدفقات الطاقة خلال تاريخها.

من الصعب جدًا الحصول على أرقام خاصة تتصف بها هذه التغيرات في تدفقات

الطاقة، هذا لو كانت موجودة على أي حال. ونتيجة لذلك، أرى أنه من المستحيل الإجابة حتى عن الأسئلة الأساسية جدًا. قد يحب المرء أن يعرف، على سبيل المثال، ماذا كانت معدلات التغيُّر خلال الـ 4,5 مليار سنة الماضية لكل من انبعاث الحرارة من داخل الأرض، والطاقة الشمسية التي وصلت إلى سطح الأرض. هل كانت هذه عمليات خطية، أو ربما حدثت تدفّقات مفاجِئة وانخفاضات من وقت إلى آخر؟ وقد يرغب المرء في أن يعرف أيضًا شكل منحنى كثافات الطاقة الذي اتصف به سطح الأرض، بداية من قيمة مجهولة لي و«نهاية» ب 60 4- 10 x وات/ كج الآن. ونتيجة لذلك فإن أغلب ما يلي هنا لا يمكن، رغم ذلك، التعبير عنه بالأرقام.

فرضية جايا

عندما بدأ تطور الحياة على الأرض، أثرت الطبيعة غير الحية والطبيعة البيولوجية على بعضهما بعضًا بشكل متزايد. والدراسات الأولى الرائدة لهذه التفاعلات تم إنجازها في بداية القرن العشرين بواسطة العالم الروسي فلاديمير فيرنادسكي Vladimir Vernadsky. لكن فقط منذ الثمانينات بدأ علماء البيولوجيا والجيولوجيا في استكشاف هذه الفكرة بشكل منتظم. في العلم، تُعرف هذه المقاربة الآن باعتبارها «منظومة الأرض»[16].

لعل تأثير الحياة المبكرة كان محدودًا بالأحرى، ورغم ذلك فمع تطوُّر الحياة أصبحت مؤثِّرة بشكل متزايد. وحدث ذلك في سلسلة من الموجات. ربما تعود الموجة الأولى إلى نحو 2 مليار سنة، عندما ظهر أول أكسجين حر في الغلاف الجوي، والذي أنتجته الحياة. وحدثت الموجة الثانية منذ نحو 540 مليون سنة، عندما تضاعفت أنواع الحياة المعقدة. وحدثت الموجة الثالثة منذ نحو 400 مليون سنة، عندما انتقلت الحياة المعقَّدة إلى اليابسة. ومنذ ذلك الزمن، تأثَّرت كل العمليات الجيولوجية على مجمل سطح الأرض بالحياة. ولعلها، على سبيل المثال، قد قامت بتسهيل تآكل الصخور بأن «أكلتها»، أو بالمحافظة على تماسُك التربة المفكَّكة بمساعدة حُصُر ميكروبية[17]. تلك فقط بضعة أمثلة عن تأثير الحياة على سطح الأرض. ربما يكون من المثير للدهشة، أن الحياة قد أثَّرت حتى على تكتونية الصفائح. ولعل سطح الماء، الذي من المحتمل أنه تمت المحافظة عليه بواسطة الحياة، قد قام بتشحيم الصفائح المتحركة، وبذلك جعل تكتونية الصفائح ممكنة. ولعل داخل كوكبنا الأعمق قد ظل، على العكس، نطاقًا حصريًا لعمليات غير حية لا تزعجها الحياة.

في الثمانينات، بينما تم وضع بعض من هذه التأثيرات في الحسبان، قدم العالم البريطاني جيمس لافلوك اقتراحًا جذريًا، وهو أن الحياة لم تؤثر فقط على وجه الأرض لكنها أوجدت وحافظت على ظروف جولديلوكس كوكبية دعمت بقاءها الخاص. والأكثر جدارة بالملاحظة، أن هذا يتضمن نظام تنظيم درجة حرارة سمح بوجود ماء سائل، وهو الضروري للحياة، لكي توجد على سطح الأرض لأكثر من 3 مليارات سنة، على الرغم من أن خرج طاقة الشمس ارتفع بنسبة 25 في المائة خلال الفترة الزمنية نفسها. أطلق لافلوك على فكرة أن الحياة تخلق وتحافظ على شروط ضرورية لبقائها الخاص «فرضية جايا Gaia hypthesis». وجايا هو اسم ربّة الأرض اليونانية القديمة.

لتقييم فرضية أنه من المحتمل أن الأرض أسهمت في بقاء الماء سائلًا، نحتاج أولًا إلى معرفة كيفية تفسير العلماء لحقيقة أنه لا يزال هناك ماء على سطح الأرض بعد مثل هذه الفترة الزمنية الطويلة من التعرض لأخطار كونية. أولًا، مسافة الأرض عن الشمس مناسبة تمامًا. لو أن كوكبنا كان يقع أقرب لنجمنا المركزي، لكان كل الماء عليه قد تبخّر في الفضاء منذ زمن بعيد. وللأرض أيضًا الحجم المناسب، وهو ما يعني أن جاذبيتها بالقوة الكافية للمحافظة على مياه باقية على السطح.

تدور جزيئات الماء خلال الغلاف الجوي نتيجة للتبخُّر. وعندما ترتفع جزيئات الماء إلى أعلى في الغلاف الجوي، قد تتفسَّخ إلى عناصرها الكيميائية المكوِّنة لها، الهيدروجين والأكسجين، تحت تأثير ضوء الشمس. وبينما يظل الأكسجين الأكثر ثقلًا بكثير في الغلاف الجوي أو يتم أسره على سطح الأرض، يميل الهيدروجين إلى الهرب في الفضاء، لأن خفيف جدًا لدرجة أن جاذبية الأرض لا تستطيع المحافظة عليه. وطالما كان هناك القليل من الأكسجين، أو لا يوجد، الحر في الغلاف الجوي يمكنه الإمساك بالهيدروجين قبل هروبه إلى الكون، تستمر هذه العملية بلا توقُّف. ومع ذلك، بعد أن تتحد كل المواد المتاحة على سطح الأرض، وتكون الحديد في الغالب، مع الأكسجين الحر، تبدأ في الظهور في الغلاف الجوي بكميات كبيرة. وبمجرد أن يحدث ذلك، يمسك الأكسجين الحر أغلب الهيدروجين الحر بتكوين جزيئات ماء من جديد، وبذلك يجعل عملية فقد الهيدروجين بطيئة. بمرور الزمن، لعل هذه العملية قد ساعدت على المحافظة على الماء على الأرض، بينما أسهمت أيضًا في ظهور أكسجين في الغلاف الجوي.

هناك عملية ثانية، والتي قامت بتسويتها الحياة هذه المرة، أنتجت غلافًا جويًا غنيًا بالأكسجين، وبذلك ساعدت في الإمساك بذرات الهيدروجين قبل فرارها في الفضاء. وبمساعدة ضوء الشمس، تعلمت أنواع معينة من الحياة فلق جزيئات ثاني أكسيد الكربون والتوحيد بين ذرات الكربون الناتجة والماء، وشكلت بذلك تشكيلة كبيرة من الجزيئات العضوية، والتي أصبح جزء منها مطمورًا في قشرة الأرض. انبعث الأكسجين المتبقي باعتباره منتجًا عادمًا. ومثل الأكسجين المنتج بواسطة تفكك جزيئات الماء تحت تأثير ضوء الشمس، بدأ الأكسجين الناتج عن الحياة يحتشد في الغلاف الجوي بعد أن أصبحت المواد على سطح الأرض مشبعة به.

وأدت كلتا العمليتين إلى ظهور أكسجين حر في الغلاف الجوي. ورغم أنه من غير الواضح حتى الآن العملية التي أسهمت أكثر من غيرها: العملية الفيزيائية لتفسُّخ الماء بواسطة ضوء الشمس أو تفكك ثاني أكسيد الكربون بواسطة الحياة بمساعدة ضوء الشمس والماء، فإن كل علماء الأرض يوافقون على أنه بداية من نحو 2 مليار سنة، أسهمت الحياة بدرجة كبيرة في إنتاجِ غلافٍ جويٍ غني بالأكسجين، وعندما فعلت ذلك فإنها ساعدت على المحافظة على الماء على سطح الأرض. إضافة إلى ذلك، لعل المذنبات التي انهمرت على الأرض خلال كل تاريخها قد أضافت كميات كبيرة من الماء، وبذلك غذت الماء الذي تم فقده نتيجة الهيدروجين الهارب في الفضاء.

تفسِّر هذه الآليات سبب أنه لا يزال هناك ماء على كوكبنا، لكنها لا تفسِّر سبب أن أغلب الماء سائل بدلًا عن أن يكون متجمِّدًا أو غازيًا. وكما أوضح لافلوك، تعتبر هذه المسألة محل جدل لأنه خلال الـ 4,5 مليار سنة من المحتمل أن الإشعاع الشمسي أصبح أقوى بنسبة نحو 25 في المائة. ورغم ذلك فخلال هذه الفترة، مع فترات من الصعود والانخفاض، شهد سطح الأرض بالفعل ميلًا نحو البرودة. وتبعًا لفرضية لافلوك، حدث ذلك لأن الحياة كانت قد غيرت أحوال سطح الأرض بطرق أدت إلى عملية التبريد، أولًا بأن خفضت بحدة من المستويات العالية المبكِّرة لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وقلَّل ذلك من ظاهرة الاحتباس الحراري الناتجة عن هذا الغاز، ما أدَّى إلى تبريد الأرض خلال الفترة التي تزايد فيها خرج طاقة الشمس. ثانيًا، لعل الحياة قد حفَّزت، مثلًا، على زيادة غطاء السحاب والمزيد من هطول المطر، وتسبَّب كلاهما في تبريد الكرة الأرضية[18].

فكرة أن الحياة يمكنها إنتاج ظروف جولديلوكس لسطح الأرض لصالحها لا تبدو مقبولة إلى حدٍّ كبير، لأنه كيف يمكن لكل أنواع الحياة المختلفة هذه أن تستطيع معًا خلق هذا النظام الكوكبي بمساعدة التطور الدارويني، وهي عملية من المتوقَّع أن تعمل على الأفراد؟ وكما أرى الأمر، قد تكون المفاجأة أن الإجابة بسيطة. ولعل هذا قد حدث نتيجة الاستبعاد غير العشوائي لكلٍّ هذه الأنواع التي أفسدت ظروف جولديلوكس الخاصة بها. بعبارة أخرى، لعل هذه الكائنات الحية التي جعلت بيئتها الخاصة الملائمة غير قابلة للحياة فيها قد تسبَّبت في استبعاد نفسها تلقائيًا. ولعل العملية نفسها قد فضَّلت بقاء كل هذه الكائنات الحية التي حسَّنت أحوال معيشتها أو حافظت عليها على الأقل مفضَّلة إلى حدٍّ كافٍ. ولعل تحسين ظروف جوليدلوكس لنوع واحد قد أدى، بالطبع، إلى إتلاف هذه الظروف بالنسبة للأنواع الأخرى. لو أن هذا الموقف أثَّر بشكل سلبي على الأنواع التي سببت هذه التغيرات، لعله قد تم، بالطبع، استبعادها أيضًا. لكن لو لم يكن ذلك قد حدث، فلعل هذه العملية قد أدت تلقائيًا إلى آليات ارتجاعٍ خلقت ظروف جولديلوكس لكل الأنواع التي ظلت حية.

هناك بعض الأدلة على آليات ارتجاع تخلق أو تحافظ على ظروف جولديلوكس تعمل بشكل جيد إلى ما بعد نطاق أنواع خاصة. في 2006، على سبيل المثال، اقترح العالمان الروسيان أناستاسيا ماكارفيفا وفكتور جورشكوف ما يسمَّى بنظرية المضخة الحيوية. الفكرة الأساسية هي أن الغابات الطبيعية تبخر كمية كبيرة من الماء، الذي يتكثَّف بالتالي في الهواء فوق الغابات ويصبح أكثر رقة. هذا الضغط الأكثر انخفاضًا «يمتص» الهواء الرطب من المحيط وهو ما ينتج عنه المطر الضروري. بهذه الطريقة، تسهم الغابات في خلق أو المحافظة على ظروف جولديلوكس الرطبة الخاصة بها. في مثال آخر، اقترح عالم دراسات الحياة ما قبل التاريخ الروسي، ألكسندر ماركوف Alexander Markow في 2009، أن النظم البيئية الأكثر تنوعًا يكون من المرجح أكثر أن تحتوي على أجناس بيولوجية تعيش لفترات زمنية أطول. ويميل التنوع الحيوي الأعلى إلى جعل هذه النظم البيئية مستقرة، هو ما يتيح، بالتالي، أحوالًا أفضل للبقاء على الحياة على المدى الطويل. وينجح ذلك طالما لا تظهر كائنات حية جديدة تقلل فجأة من التنوع الحيوي بأن تأكله.

لو أن فرضية جايا للافلوك صحيحة، يجب أن يكون تطور جايا عملية ديناميكية لها

الكثير من المحاولات والأخطاء، وهو ما سيستمر طالما كانت هناك حياة على هذا الكوكب. لذلك ليس من المثير للدهشة، كما يؤكد عالم البيولوجيا الأمريكي دافيد رامب David Ramp، أن أكثر من 99 في المائة في الوقت الحالي من كل الأنواع قد انقرضت. ولعل هذا قد حدث لأن كل الأنواع لم تبقَ حية رغم الهجوم العنيف لظروف تتغير باستمرار[19]. للتأكيد، فإن عمليات الانقراض الجماعي الضخمة الخمس قد ضربت أيضًا كميات هائلة من الأنواع. ورغم ذلك فإنه على المدى البعيد ومع تقلبات الظروف، لا بد أن هذه العملية قد أنتجت مجموعة من الكائنات الحية لم تقوِّض أسس ظروف جولديلوكس الخاصة بها إلى حد كبير خلال فترات زمنية قصيرة، بل لعلها حتى قد حسَّنتها. ولا تعدُّ مجموعة ظروف جولديلوكس الطيبة هذه، بالطبع، مستقرة. ولعل وافدون مسلحون بابتكارات قوية قد قلبوا هذه التوازنات مرارًا وتكرارًا، وبذلك أحدثوا حالات انقراض جديدة.

إذا رأينا الأمر بهذه الطريقة، لعل جايا ذاتية التنظيم كانت النتيجة الحتمية للتطور الدارويني. والتماثل المثير للانتباه بين حياة تخلق ظروف جولديلوكس في خلاياها وجايا تفعل أمرًا مماثلًا على مقياس كوكبي، قد لا يكون قد حدث مصادفة. قد يتضح أن كل الأنواع التي نجحت في البقاء زمنًا طويلًا تحتاج لأن يكون لديها ميل مدمج فيها لخلق ظروف جولديلوكس طويلة المدى لنفسها. كل هذا يخلق معجزة هي التي يفعلها البشر الآن مع الأرض. وما لا يثير الدهشة إلى حد كبير أن هذا أحد الاهتمامات الرئيسية لدى لافلوك[20]. وسوف نعود إلى هذه القضية في نهاية قصتنا.

بينما قامت أنشطة الحياة التدريجية، ولكن المثابرة بالتغيير العميق للعمليات البيولوجية على سطح الأرض، أثَّرت القوى الجيولوجية القوية أيضًا، بالطبع، بعمق على كلٍ من التطور البيولوجي والتاريخ البشري. على سبيل المثال، أنتجت عملية الصفائح التكتونية تغيرات في تيارات المحيط، وهو ما أثر بالتالي على الطقس الأرضي. أدى تكوين الجبال إلى اختلافات جغرافية متزايدة على اليابسة، ما قام من ثَمَّ بتسهيل المزيد من التنوع الحيوي، بينما غير أيضًا أنماط الريح والمطر، ومن ثم خلق نطاقًا واسعًا من حالات الطقس على المستوى الصغير. خطوط التصدع التي تفصل الصفائح التكتونية تعتبر غالبًا أماكن حيث يمكن العثور على فلزَّات نادرة، والتي أتت إلى السطح من خلال عملية صفائح تكتونية. لا حاجة تقريبًا للقول بأن التوزيع غير المتكافئ لمثل هذه الموارد، وخاصة الذهب والفضة، قد أثَّر بشكل حاسم على تاريخ البشر.

ظهور حصاد الطاقة من الخارج

خلال المرحلة الأقدم في التاريخ البيولوجي، كانت كل الكائنات الحية تتكوَّن من خلايا فردية تتغذى على أي تدفقات للمادة والطاقة تتمكن من الوصول إليها. ويعرف الممثلون المحدثون لهذه الخلايا باسم خلايا «وحيدة الخلية prokaryotes»، وهي خلايا من دون نوَى. ومع ذلك، وفي نقطة محدَّدة من التطور، بدأ بعضٍ من الخلايا الفردية في التعاون بالالتصاق معًا لتكوين بنى أكبر. بهذه الطريقة، تشكَّلت الستروماتوليتات stromatolites (أحفورات طحلبية تعود إلى عصور ما قبل الكمبري) الشهيرة، والتي تتكون من كتل كبيرة من الخلايا التي تعيش في ماء البحر الضحل. وتعود البقايا المتحجِّرة من الستروماتوليتات القديمة إلى نحو 3,4 مليار سنة، بينما لا يزال بعض من أعضاء سلالة قريبة منها حية الآن في شارك باي Shark Bay على الساحل الغربي لأستراليا. من الواضح أن استراتيجية الالتصاق معًا قد سمحت للاستروماتوليتات بأن تعيش في مناطق ذات ظروف جولديلوكس لمليارات السنوات. وحتى الآن، فإن الالتصاق معًا تعتبر استراتيجية يناضل لاكتسابها الكثير من الكائنات الحية، وهي تتراوح بين البكتيريا حتى البشر، ويكون ذلك عادة للدفاع عن نفسها ضد أنواع الحياة الأخرى[21].

الكائنات الحية الصغيرة التي تشكِّل معًا الستروماتوليتات القديمة ربما كانت مماثلة للبكتيريا الزرقاء cyanobacteria التي تشكِّل الستروماتوليتات في الوقت الراهن. لو أن الأمر كذلك، فإن هذه الميكروبات القديمة كان باستطاعتها الإمساك بضوء الشمس واستخدامه في بناء أنواع جديدة من التعقد. وهذه العملية معروفة باسم «التمثيل الضوئي». وقد يعني ذلك أنه منذ نحو 3,4 مليار سنة، حرر بعض من الكائنات الحية نفسها من الاعتماد على مادة وطاقة حرارة باطن الأرض، وبدأت حصد الطاقة الشمسية من الخارج. ويطلق العالم الهولندي فرانك نيل على هذه الطريقة الجديدة في الحصول على الطاقة «نظم الانتحاء الضوئي phototrophic (التغذية بالضوء)»[22].

تلك كانت خطوة أساسية في التطور البيولوجي. ولأن هذه الاستراتيجية الجديدة أتت على حساب خلق أنواع جديدة من التعقد في داخل هذه الأنواع نفسها التي كان في استطاعتها حصد ضوء الشمس، لا بد أنه كان هناك بعض من المنافع في فعل ذلك. أولًا، سمحت عملية التمثيل الضوئي للاستروماتوليتات بأن تضع نفسها في نقطة تفاعل بين

الغلاف الجوي، واليابسة والمحيط، وبذلك تحصد أكثر تدرجات الطاقة حدة. ولقد حرَّرها ذلك من اعتمادها على الأفران السوداء، والتي كانت، في ذلك الوقت، تتضاءل في الأعداد والنشاط. وفي الوقت نفسه، قد يشك المرء في أن كل الكائنات الحية التي اعتمدت على الأفران السوداء قد تضاعفت، وبذلك أدت إلى تنافسٍ حادٍّ متزايدٍ من أجل المادة والطاقة. ونتيجة لذلك، لعله كانت هناك علاوة بقاء لأي كائن حي يكون قد طوَّر طرقًا لاستغلال تدفقات جديدة للمادة والطاقة.

أدى ابتكار حصد تدفقات طاقة على هيئة تمثيل ضوئي إلى ما يسميه علماء البيولوجيا «حادث تطور الأنواع speciation»، والذي تلاه إشعاع تكيُّفي: ظهور نطاق من الأجناس الجديدة التي احتلت بعد ذلك بيئات ملائمة جديدة. وهذه آلية تطور عامة جدًا يمكنها، بالطبع، أن تحدث فقط عندما يساعد الابتكار الكائن الحي على حصاد المادة والطاقة بطرق أفضل وبذلك يحافظ على تعقده. وتبعًا لعالم دراسات الحياة ما قبل التاريخ الهولندي جون دو فوس John de Vos، لا تعمل هذه الآلية فقط على التطور البيولوجي، ولكن أيضًا في التاريخ البشري[23]. بفضل ابتكار التمثيل الضوئي، تضاعفت أعداد هذه الكائنات الحية المجهرية بينما تميَّزت عبر نطاق متزايد من الأنواع.

نتيجة الأنشطة التي لا تتوقف لأنواع الحياة الجديدة هذه، تم نبذ كميات متزايدة من الأكسجين في الغلاف الجوي. وفي الوقت نفسه، انخفضت مستويات ثاني أكسيد الكربون الحر في الغلاف الجوي، لأن الحياة بدأت في تحويل هذا الغاز بشكل متزايد إلى مواد عضوية كجزء من عملية التمثيل الضوئي نفسها. ولزمن طويل، اتحد أكسجين الجو بسرعة مع الحديد القابل للذوبان في المحيطات، لتكوين مركبات حديد قابلة للذوبان، والتي لا يزال الكثير منها موجودًا على هيئة شرائط كبيرة من أكسيدات الحديد. وتتيح هذه الشرائط الآن مواردنا الرئيسية من الحديد. وبعد أن أصبح أغلب الحديد القابل للذوبان متحدًا،لم تكن هناك مواد كيميائية أخرى متبقية على سطح الأرض يمكنها ربط الأكسجين في كميات كبيرة. ومنذ ذلك الوقت، نحو 2 مليار سنة، بدأت كميات كبيرة من الأكسجين في التراكم في الغلاف الجوي أو تمت إذابتها في المحيطات. يُضاف إلى ذلك، أن عملية تفكك الماء التي تتم بشكل طبيعي عاليًا في الغلاف الجوي تحت تأثير ضوء الشمس تسهم أيضًا في ارتفاع الأكسجين الحر. ومن الجدير بالملاحظة، أنه خلال الفترة الزمنية نفسها، بدأت عملية تكتونية الصفائح في

تشكيل مساحات واسعة من الأرض والمحيطات للمرة الأولى مميَّزة بوضوح في تاريخ الأرض. لعل ذلك كان مصادفة.

بفضل الأنشطة الطاقية للبكتريا الزرقاء القديمة، بدأ وعاء لتخزين الطاقة الشمسية في التراكم على الأرض. وأصبح الأيض الذي يحصل على طاقته من الشمس لدى الكائنات الحية بالغ الكفاءة بشكل واضح في تكوين كتلة أحيائية التي تركت رواسب طاقة جديرة بالاعتبار في قشرة الأرض على هيئة أقدم مخزونات البترول، والتي تعرف باسم «رواسب نفط الحقبة الكمبرية». والحقبة الكمبرية هي الفترة الجيولوجية التي تمتد بين 2,5 مليار سنة و550 مليون سنة. وحقول النفط هذه، التي قد يعود أقدمها إلى نحو 1,3 مليار سنة، يمكن العثور عليها في أماكن كثيرة، بما في ذلك كندا، والشرق الأوسط، وروسيا وأستراليا[24].

بالنسبة للكثير من الكائنات الحية، كان ظهور الأكسجين الحر في الغلاف الجوي وفي المحيطات كارثة، لأن الأكسجين كان سمًا بالنسبة إليها. وأنواع الحياة هذه إما انقرضت أو وجدت مأوى في أماكن مثل أعماق البحار أو بعيدًا تحت الأرض، حيث كان تركيز الأكسجين منخفضًا بما يكفي لبقائها. مع ذلك، فبالنسبة لكائنات حية أخرى أتاح لها هذا الإمداد المتزايد من الطاقة الحرة ظروف جولديلوكس جديدة. وبدأت في استخدام الأكسجين للاحتراق الداخلي للمواد العضوية. وتعتبر الكفاءة المتحسّنة للاحتراق الداخلي بمساعدة الأكسجين الحر أمرًا يلفت الانتباه. ويطلق هذا الذي يسمى التنفس الهوائي طاقة 16 ضعف الطاقة التي يطلقها الاحتراق من دون أكسجين (التنفس اللاهوائي). ونتيجة لذلك، فإن ابتكار التنفُّس الهوائي أتاح لهذه الكائنات الحية ميزة هائلة. أدى ذلك إلى إشعاع تكيفي عبر مجمل سطح الأرض. وحدث بهذه الطريقة أن بدأت عملية التمثيل الضوئي في إمداد أغلب الحياة بالطاقة. وكان الثمن الذي على هذه الكائنات الحية دفْعه هو تعقد جزيئي أكبر، ولعله هو الذي جعلها أكثر تعرُّضًا للمخاطر.

حفَّز ظهور غلاف جوي غني بالأكسجين ظهور خلايا أكبر وأكثر تعقدًا. ومنذ نحو 2 مليار سنة، ظهرت أولى الخلايا التي بدأت التخصُّص في وظائف معينة، مثل التمثيل الضوئي أو أيض الطاقة، بينما اندمجت بعد ذلك في خلايا أكبر. بهذه الطريقة، ظهرت خلايا جديدة وأكبر، تكوَّنت من تشكيلة أكبر ولبنات بناء وروابط أكثر تعقد، وبذلك جعلت التعقد الكلي الأكبر ممكنًا. ويمكن وصف هذا التطور بأنه ظهور لتقسيم عمل داخل الخلايا.

ويطلق عليها خلايا حقيقية النواة eukaryotic (خلايا لها نوى واضحة)، ولقد بدأت تحتوي على كمية كبيرة من المزيد من المعلومات الوراثية في نواها. وتخصَّصت جزيئات عضوية organelle في الخلية تسمى «حبيبات خيطية mitochondria» في أيض الطاقة، بينما هناك بعض خلايا الجزيئات العضوية التي يُطلق عليها «حبيبات يخضور chloroplasts» كرَّست نفسها للإمساك بضوء الشمس واستخدامه في صناعة مركبات كيميائية عضوية. ولعل حبيبات اليخضور قد أتت من البكتيريا الزرقاء التي اندمجت مع خلايا حقيقية النواة وفقدت بعد ذلك وظائفها المستقلة. ولعل اندماجًا مماثلًا قد حدث بين أسلاف الحبيبات الخيطية، والتي كانت، في أغلب الاحتمالات، خلايا فردية تخصصت في التنفس الهوائي.

مثل البكتيريا الزرقاء القديمة، لم تعد الخلايا حقيقية النواة المحتوية على حبيبات يخضور تعتمد على تدفقات المادة والطاقة من داخل الأرض. ويمكنها بدلًا عن ذلك الإمساك بإشعاع ضوء الشمس واستخدامه في إنتاج جزيئات حيوية. وعندما تفعل ذلك، فإن الكائنات الحية تصبح معتمدة على مجموعة مختلفة من ظروف جولديلوكس. احتاجت أن تبقى على قرب كاف بحيث لا يدمرها ضوء الشمس. وأدى ابتكار التمثيل الضوئي إلى إشعاع تكيُّفي لكلٍ من الخلايا وحيدة النواة وحقيقية النواة في عدد متنامٍ من الأنواع التي استطاعت استخدام أطوال أمواج مختلفة من ضوء الشمس في عدد منَ الشروط المختلفة.

في وقتٍ زمني محدَّد، تعلَّمت الخلايا حقيقية النواة كيف تسهم في مواردها الوراثية أثناء التكاثر. وكانت هذه بداية التكاثر الجنسي كما نعرفه الآن. وإنها لميزة أساسية لآلية التكاثر هذه أنها تسمح بتبادل وراثي أسرع، بما في ذلك مبادلة التنافس حول الموارد مع الأنواع الحية الأخرى. لا يعرف أحد متى ظهرت أول الأنواع للتكاثر الجنسي. ولعل هذا الحادث المذهل في التاريخ البيولوجي قد حدث منذ أكثر من 600 مليون سنة، تمامًا قبل الإسراع نحو تعقد أكبر يرد في الجزء التالي[25].

ظهور شبكة الطعام البيولوجي

بين 575 و540 مليون سنة مضت -فترة زمنية 35 مليون سنة فقط- أصبحت الحياة فجأة أكثر تعقُّدًا. ظهر نطاق واسع من الكائنات الحية متعددة الخلايا كانت مزوَّدة بتشكيلة مدهشة من الأعضاء. وهذه كانت بداية الحياة المعقدة كما نعرفها الآن. وكانت

كل هذه الكائنات الحية تتكون من مجموعات من الخلايا حقيقية النواة تخصَّصت في أداء وظائف للكائن الحي في مجمله، مثل الأفواه، والقنوات الهضمية، والأمخاخ، والعيون والأرجل أو الزعانف[26].

من الواضح، أنه بالنسبة لهذه الكائنات الحية كانت تكلفة المحافظة على تعقد أعلى أن حصلت على مكافأة بفرص أفضل للبقاء والتكاثر. وعندما نرى الأمر تحت هذا الضوء، فإن ظهور التعقد كان استراتيجية بقاء بالنسبة لبعض الأنواع، لكن ليس للجميع، حيث كانت فوائد حصاد ما يكفي من المادة والطاقة بالإضافة إلى تشكيل ظروف جولديلوكس على هيئة وسائل كافية للدفاع ضد الآخرين تتجاوز تكلفة خلق والمحافظة على كل هذه الأنواع الجديدة من التعقد.

بمجرد ظهور كائنات حية أكثر تعقدًا، لم تكن هناك عادة طريقة للعودة إلى الخلف. ونادرًا ما أصبحت أنواع الحياة أقل تعقدًا. ولو حدث ذلك، تكون هذه الأنواع قد فعلت ذلك خلال ظروف جولديلوكس خاصة جدًا، مثل الكهوف المظلمة، حيث كانت العيون، على سبيل المثال، أقل فائدة، وتم فقدها نتيجة لذلك. لكن ليست هناك حالات معروفة لكائنات حية معقدة تفككت تلقائيًا إلى خلاياها التي تتشكل منها، عاشت بعد ذلك وأنتجت بشكل مستقل.

وموقف التطور المقيد عبر مسار محدَّد بلا طريق للعودة معروف بأنه «الاعتمادية على المسار path dependency». وليست هذه الظاهرة فريدة من نوعها بالنسبة للحياة المعقدة. على العكس، يمكن تطبيق مفهوم مسار التبعية على مجمل التاريخ الكبير. وكما رأينا سابقًا، يمكن تفسير النجوم، والكواكب والمجرات باعتبارها بنى كونية تطورت خلال مسارات محددة، لأنها مقيدة بالظروف الخارجية والداخلية، مثل كتلها، وحجمها وما يجاورها. بل يمكن للمرء أن يجادل بأن تاريخ الكون في مجمله مقيد بمسار تبعية يتم تعريفه بالقيم المحددة للثوابت الطبيعية، التي تسمح فقط لأنواع معينة من التعقد بالظهور. لو أن قوة الجاذبية كانت أكبر، على سبيل المثال، أو كانت الكهرومغناطيسية أكثر ضعفًا، لظهر الكون مختلفًا تمامًا.

دعنا نعود إلى ظهور الحياة المعقدة. لا يمكن لأنواع الحياة المعقدة أن تنفك عن بعضها بعد الآن وتستمر حية باعتبارها خلايا مفردة مستقلة، لأنها باتحاد القوى خلال تكوين الكائن الحي المعقد، أصبحت كل هذه الخلايا متخصصة ومعتمدة على بعضها

بشكل متبادل. ويمكن، من ثَمَّ، وصف ظهور الحياة المعقدة بأنه ظهور لتقسيم عمل بين الخلايا. ولأن الخلايا وحيدة الخلية لم يُلاحظ أبدًا بأنها تشكل مثل هذه الكائنات الحية المعقدة، فإن تقسيم العمل داخل الخلايا للخلايا حقيقية النواة كان بالضرورة شرطًا مسبقًا مطلقًا لظهور تقسيم العمل بين الخلايا. وأصبح ظهور الكائنات الحية المعقدة ممكنًا بفضل ظهور الأكسجين الحر في الغلاف الجوي والماء. يمكن نقل هذا الأكسجين إلى الخلايا التي لم تكن على اتصال مباشر بالعالم الخارجي ولم يكن لها لتبقى بطريقة أخرى. وعندما فعلت ذلك، استطاعت هذه الخلايا استخدام أيْض هوائي أكثر كفاءة.

حقيقة أن جينوم الخلايا حقيقية النواة أكبر بكثير من تلك الخاصة بأقاربها وحيدة الخلية لعله قد لعب دورًا مهمًا في تطور الحياة متعددة الخلايا. كلما ازداد ما تحتوي عليه أية خلية من الدنا، ازدادت المعلومات التي تحت تصرفها، والتي يمكن للخلية أن تشفِّرها لتصل إلى تعقد أكبر. وكلما أصبحت الخلايا أكثر تعقدًا، ازدادت المعلومات التي تحتاجها لكي تحافظ على نفسها منظَّمة. وبينما من حيث المبدأ تحتوي كل خلية حقيقية النواة على البرنامج الوراثي في مجمله لكل كائنها الحي، تستخدم الحياة المعقدة فقط جزءًا محدودًا من هذه المعلومات الوراثية لكي تبني خلايا متخصصة، بينما تضمن أن هذه الجينات التي تنشط هي فقط تلك التي تحتاجها لكي تنتج نوعًا خاصًا من الخلايا. وعندما تفعل ذلك، يمكن لمجموعات الخلايا حقيقية النواة المترابطة أن تصبح أكثر تخصصًا بشكل غير مسبوق، وبالتالي أكثر قدرة على أداء عدة أشياء بكفاءة.

كانت هناك طفرتان رئيسيتان في التطور البيولوجي نتج عنهما تعقد متعدد الخلايا أكبر. الطفرة الأولى تعرف بأنها «إدياكارية»، على اسم إدياكارا هيلز Ediacara Hills في جنوب أستراليا، حيث تم العثور على هذه الأحفوريات الأقدم. ولدى الكائنات الحية الإدياكارية كلها أجسام ليِّنة، بينما ينقصها بشكل كامل العظام أو القواقع. واستمرَّت هذه الفترة الزمنية بين 575 و542 مليون سنة. والطفرة الثانية حدثت منذ نحو 540 مليون سنة واشتملت على ظهور نطاق من كائنات حية معقدة لديها عظام وقواقع صلبة. وهذه الفترة الزمنية معروفة بأنها «الانفجار الكمبري لأنواع الحياة»، بسبب سرعة ظهورها. مأخوذ من (Cumbria)، وهو اسم ويلز باللغة الويلزية، حيث

تم اكتشاف هذه الحفريات للمرة الأولى. وتمثل الحفريات الكمبرية كل النظم البنيوية العامة، والتصميمات الهيكلية، الموجودة في الكائنات الحية المعقدة المعاصرة، بالإضافة إلى عدد من التصميمات التي لم تصنعها في الوقت الراهن. وليس من الواضح كيفية ارتباط الأنواع الإدياكارية والكمبرية. ويبدو كما لو أنه خلال الانفجار الكمبري حدث انقراض لمعظم الأنواع الإدياكارية الأكبر بالفعل، بينما من المحتمل أن بعضًا من الكائنات الحية الإدياكارية قد تطور إلى أنواع كمبرية[27].

يتكوَّن الضغط الانتقائي الذي تحكَّم في هاتين الطفرتين من الفرص الجديدة التي قدمتاها لتحسين وحصد واستخدام المادة والطاقة. وبالتالي، فإن كلًا من التطورين الإدياكاري والكمبري نتج عنهما نطاق متسع من أنواع حياة جديدة بأشكال ذات تعقد متزايد. ورغم ذلك ظل في الوقت نفسه الكثير جدًا من الكائنات الحية، أغلبها بدائية النواة، ولكن أيضًا بعض الكائنات الحية والتي تُعدُّ حقيقية النواة eukaryotes (كائنات متعددة الخلايا، وذات بنية خلوية معقدة)، تظلُّ صغيرة وبسيطة نسبيًا. ومن الواضح، أنها في داخل بيئاتها المناسبة ذات جولديلوكس خاصة، استطاعت المحافظة على حصد كميات كافية من المادة والطاقة. ونتيجة لهذه التطورات، تميزت شجرة الحياة إلى نطاق متسع من الكائنات الحية البسيطة ولكن الأكثر تعقدًا.

ولو رأينا الأمر من منظور تاريخ كبير، نشاهد هنا فرقًا أساسيًا بين النظم الفيزيائية والبيولوجية. بينما تتسم كل أنواع الحياة المعقدة بتمييز واضح للشكل والوظيفة داخلها، فإن النظم الفيزيائية، مثل النجوم، أو الكواكب أو المجرات، يمكن أن يحدث له تمييز في الشكل وليس في الوظيفة. والقول، على سبيل المثال، بأن النجوم الفردية تنجز مهمة المحافظة على المجرة الكاملة معًا، لا يعني أي شيء بالنسبة لي. ورغم ذلك، فإنه بالنسبة لأنواع الحياة المعقدة، يكون هناك معنى ملائم في التساؤل حول ماهية الوظائف التي تؤديها أعضاء مثل الأيدي للمحافظة على سلامة حياة الكائن الحي في مجمله.

وكجزء من هذه التطورات، ظهرت النباتات والحيوانات الأولى. وترتبط كل الاختلافات الرئيسية بين النباتات والحيوانات بالطرق التي تحصد بها المادة والطاقة، وهو ما ينتج عنها مسار تبعيتها الخاص. واقعيًا، كل النباتات كائنات حية ذاتية التغذية autotrophic، لأنها تستطيع استخراج طاقتها الضرورية من ضوء الشمس والمادة

المطلوبة من بيئتها غير الحية. باستثناءات قليلة، لا تأكل النباتات كائنات حية أخرى. وتقوم أعضاء خاصة في النبات، وهي الأوراق عادة، بالاستخراج الفاعل للطاقة الشمسية. وتميل الأوراق إلى وضع نفسها بطرق تعتبر الأكثر تفضيلًا للحصول على الكمية المناسبة من ضوء الشمس، بينما تُعدُّ آليات التمثيل الضوئي متناغمة بدقة. وتحفر أعضاء النبات الأخرى في التربة أو تطفو حول الماء لاستخراج المادة المطلوبة، بينما تتيح الجذور أيضًا توازنا هيكليًا. بالنسبة للكثير من النباتات، خاصة الأنواع المحصورة في المياه العذبة، كانت هناك حاجة لهيكل يربط أعضاء الحصول على الطاقة الشمسية وأعضاء جمع المادة. ونتيجة لهذه الاحتياجات الأساسية، تشترك كل النباتات تقريبًا في نظم بنيوية عامة متماثلة جدًا. ولأن النباتات لا تحتاج إلى التحرك والإمساك بالفريسة، تنقصها الأمخاخ المعقدة. وقد تجد أنه من الصعب عليها أن تتحرك على أي حال، لأن الحصول على الطاقة الشمسية يتطلب عادة أسطحًا كبيرة. ولأن الإشعاع الشمسي هو مصدر طاقة يتكون فقط من الفوتونات وليس من المادة، تنتج النباتات إنتروبيا مادية قليلة نسبيًا. ولأنها تفعل ذلك، أصبحت النباتات الحديثة قادرة على التعامل مع كثافات طاقة نحو 0,09 وات/ كج.

والحيوانات، على العكس، تستخرج طاقتها ومادتها من أنواع حياة أخرى، إما من النباتات أو الحيوانات الأخرى. وعندما تفعل ذلك، تحصد الحيوانات أنواعًا مركزة من الطاقة الكيميائية ذات المكسب العالي المخزَّنة في الجزيئات الحيوية. وهي تفعل ذلك كثمن للمحافظة على أمخاخ غالية، وعضلات وقنوات هضمية، والتي تنتج معًا كميات كبيرة من إنتروبيا المادة. وتستخدم الحيوانات الطاقة المستخلصة لنفسها بطريقة بناءة، بينما تصبح مدمرة بشكل متزايد للأنواع سيئة الحظ التي تم أكلها. ولأن الحيوانات احتاجت إلى العثور على النباتات أو صيد حيوانات أخرى، فإنها طوَّرت طرقًا للانتقال لأغراضها هنا وهناك، بما في ذلك الأعين، والأمخاخ والسيقان أو الزعانف. واحتاجت أيضًا إلى أسلحة لتهزم فريستها، بالإضافة إلى قنوات هضمية مناسبة لاستخراج المادة والطاقة المرغوب فيهما. نتيجة لذلك، احتاج الكثير من الحيوانات إلى استراتيجيات هجومية ودفاعية أفضل غير مسبوقة. وبدأت النباتات أيضًا في الدفاع عن نفسها ضد الكائنات المفترسة، بأن تنتج المواد السامة مثلًا. وشهد كل ذلك بداية لسباق التسلح البيولوجي، والذي لا تبدو له نهاية حتى الآن. وبالإضافة إلى النباتات والحيوانات، ظهرت الفطريات، والكائنات الحية المجهرية والفيروسات. وتعيش الفطريات على

النبات الميت وبقايا الحيوان، بينما بدأت الكائنات الحية المجهرية والفيروسات المفترسة استخراج مادتها وطاقتها من الكائنات الحية الأخرى، النباتات والحيوانات والكائنات الحية المجهرية الأخرى.

يمكن تلخيص كل هذه التطورات باعتبارها ظهورًا لشبكة طعام متزايدة التعقُّد، نمت داخلها أعداد متنامية من الكائنات الحية، أصبحت معتمدة على الكائنات الأخرى للحصول على تدفقات المادة والطاقة. وبينما حصلت النباتات والكائنات المجهرية على مادتها وطاقتها من الطبيعة غير الحية، أنتجت الحيوانات والكائنات الحية المجهرية التي تفترسها معًا بنية أكثر تعقدًا من أي وقت مضى للأكل ولأن يتم أكلها. ونتيجة لهذا التطور، تعلَّمت الحياة استعمال الطاقة الشمسية التي تحصل عليها النباتات والكائنات المجهرية بكفاءة أكثر غير مسبوقة. ويستلزم ظهور شبكة الطعام المعقَّدة هذه نظامًا جديدًا وأكثر تنوُّعًا إلى حد كبير لظروف جولديلوكس، والذي أمكن استغلال تشكيلة متزايدة داخله من تدفقات المادة والطاقة.

بمرور الزمن، أصبحت شبكة الطعام هَرَمَ طعام. في القاع، هناك الكثير جدًا من النباتات والكائنات المجهرية المختلفة، يتم أكلها بواسطة أعداد أقل جدًا من الحيوانات، والتي، بدورها، يتم أكلها بواسطة كائنات مفترسة قليلة نسبيًا. وفي كل خطوة، تحوَّلت كمية كبيرة من الطاقة ذات النوعية العالية إلى طاقة ذات نوعية منخفضة، والتي تمثل زيادة في الإنتروبيا. وتركز بعض من هذه الطاقة عالية النوعية على هيئة مركبات كيميائية، مثل الدهون واللحوم، والتي قد لا تحتوي دائمًا على المزيد من الطاقة لكل وزن، لكنها حصة كبيرة يمكن هضمها بسهولة أكثر من أغلب الكربوهيدرات التي تنتجها النباتات. ولأن مصادر الطاقة مرتفعة النوعية هذه نادرة، كلما ارتفعنا أعلى هرم الغذاء نجد حيوانات أقل هي التي يمكنها العيش. وعلى العكس فإن الكائنات الحية المجهرية وحيدة الخلية بالغة الصغر التي تتزوَّد بتدفقات المادة والطاقة من كل الكائنات الحية الكثيرة جدًا المختلفة، تعمل عادة بأعداد كبيرة.

ونتيجة تعقُّدها الأكبر، يمكن أن نتوقع أن كثافات الطاقة لدى الحيوانات أكبر منها لدى النباتات. وبالفعل، تصل كثافات الطاقة لدى الحيوانات المعاصرة إلى 2 وات/ كج، بينما تصل لدى النباتات إلى 0,09 وات/ كج فقط في المتوسط. قد يكون من المثير دراسة هذا الموضوع بتفاصيل أكثر من حيث العملية التاريخية. ورغم كمية

العمل الكبيرة التي تم بذلها لقياس كمية تدفقات المادة والطاقة بالإضافة إلى تحوُّلات الطاقة في أجزاء معينة من شبكة الطعام، يبدو أنه لا تزال هناك حاجة إلى تحليل تاريخي لشبكة الطعام من حيث تدفقات الطاقة خلال كل التطور البيولوجي.

بإنتاج المزيد من التعقد، تولَّد عن الحياة أيضًا المزيد من العادم (الإنتروبيا). وبينما يمكن أن تشع الحرارة منخفضة المستوى إلى الخارج في الفضاء، فإن بقية النفاية المادية على هيئة فضلات من أنواع مختلفة إضافة إلى الأجساد الميتة، تظل على الأرض. وتقوم كل العمليات الفيزيائية للأكسدة الكيميائية، والترسيب وتكتونية الصفائح بتسهيل إعادة تدوير جزء كبير من هذا العادم. لكن أغلبه تم التعامل معه بواسطة التغذِّي بالمواد المتحلِّلة أو الميتة من أنواع الحياة، والتي من أجلها يمكن لإنتروبيا المادة الناتجة عن الكائنات الأخرى أن تظل قيد الاستخدام كطعام. وعندما تفعل ذلك، تخلق الحياة والأرض معًا نظام التخلص من عادمها الخاص. ولا بد أن هذا النظام كان شرطًا مسبقًا لا شك فيه للوجود المستمر للحياة على هذا الكوكب، لأنه من دونه، لكانت الحياة قد اختنقت في منتجات عادمها منذ وقت طويل.

قد يتساءل المرء حول ما إذا كان من المحتمل أن الحياة قد ظهرت في مكان آخر في الكون، فقط لتجد نفسها وقد تسمَّمت بسبب عادمها الخاص. وكما أرى، فإن ظهور النظام البيولوجي لإعادة تدوير العادم هو جزء مكمِّل لفرضية جايا، أي خلق الحياة لظروف جولديلوكس الضرورية لبقائها والمحافظة على هذه الظروف. وهنا، نرى من جديد اختلافًا رئيسيًا بين الحياة والطبيعة غير الحية. ورغم أن الكون في مجمله يعمل كوعاء نفاية عملاق، لم تطوِّر المجرات، أو النجوم أو الكواكب غير الحية أبدًا أي حلول لقمامة خاصة بها.

ظهور الكائنات الحية متعدِّدة الخلايا

يبدو الأمر كما لو أن حادث الإشعاع الإدياكاراني التكيفي والانفجار الكمبري لأنواع الحياة كانا نتيجة لتغيرات في ظروف جولديلوكس. فقط قبل 5 ملايين سنة من بداية الحقبة الإدياكارانية، ظهر سطح الأرض من صقيع عميق استغرق نحو 60 مليون سنة. وهذه الفترة الزمنية بالغة البرودة تُعرف بأنها «أرض كرة الثلج»، لأنه خلال ذلك الزمن كان أغلب سطح كوكبنا متجمدًا في أعلاه. ورغم أنه خلال أرض كرة الثلج لم تكُن أية حياة موجودة بعد على اليابسة، فلعل البرد قد قيد حتى فرص وجود حياة في

المحيطات. بعد بداية الذوبان الكبير غير معروف السبب، لعل بيئة مناسبة هائلة قد توفَّرت للناجين المحظوظين. وقد أدى ذلك إلى ابتكار تقسيم العمل ما بين الخلايا وإشعاعه التكيفي التالي[28].

في الحقيقة، لعل أرض كرة الثلج قد تكوَّنت من موجتين على الأقل، وربما أربع، موجات من فترات البرد تخللها أزمنة أكثر دفئًا. وتبعًا لعالمي الطقس توماس جريديل وبول كراتزين[29]:

«كانت الحقبة الجليدية الأقدم التي يمكن إثبات وجودها (وليست بالضرورة هي الحقبة الجليدية الأقدم التي حدثت) نحو 2700 – 2300 مليون سنة قبل الآن. ويبدو أن التجلُّد كان كثيفًا، رغم أن السجل الداعم لذلك متشظٍ تمامًا. وسببه غير مؤكد، لعله جاء بعد توهُّج شمسي منخفض بالأحرى، في وجود مساحات كبيرة جدًا من اليابسة لكي تعكس الإشعاع، وفي وجود تركيزات منخفضة من غازات الاحتباس الحراري، رغم أن هذه التكهنات لا تستند إلى دليل.

بعد التجمُّد (تقريبًا في تقاطع الفترات الزمنية للدهر السحيق Archean والحقبة الكمبرية Proterozoic)، كانت الأرض دافئة بوضوح وخالية من الجليد الدائم أو الثلج لمدة 1000 مليون سنة أو ما يقرب من ذلك. وحدث التجلُّد الثاني المعروف منذ نحو 950 مليون سنة قبل الآن، وتبعه اثنان آخران منذ نحو 820 – 730 ميلون سنة قبل الآن. وآخر ما قبل العصر الكمبري كان فترة أساسية في نشوء الجبال على الأرض، ولعل فترات التجلد ارتبطت بتحركات تكتونية وبالتمزق القاري».

بذلك يبدو أنه ما بين 2 و3 مليار سنة، عندما بدأت مساحات كبيرة من اليابسة في التشكل وظهر الأكسجين الحر في الغلاف الجوي، بدأ ظهور أول فترة زمنية باردة. وهذا يجعل المرء يتساءل حول الدور المحتمل للأكسجين الجوي، ومن ثم الحياة بالتالي، في تبريد الكوكب. ولا بد أن ظهور الأكسجين الحر نتيجة للتمثيل الضوئي قد واكب انخفاضًا في ثاني أكسيد الكربون الجوي، الذي كان قد تحوَّل إلى جزيئات حيوية، وبذلك قام بتخفيض ظاهرة الاحتباس الحراري المحتمَلة الناتجة عن هذه الجزيئات. يُضاف إلى ذلك، ربما كان الأكسجين الحر قد اتحد بالميثان الجوي (وهو غاز احتباس حراري قوي جدًا) لإنتاج ثاني أكسيد الكربون (وهو غاز احتباس حراري أقل شدة

بكثير) وماء. ولعل ذلك قد قام أيضًا بتخفيض درجات حرارة السطح. ويُضاف إلى ذلك، فإن طبقة الأوزون المنبثقة في الاستراتوسفير التي تكوَّنت من الأكسجين الحر في الغلاف الجوي تحت تأثير ضوء الشمس، بدأت في حماية الحياة في مياه البحار الضحلة. وسمح ذلك بأن تعيش هذه الكائنات الحية أقرب إلى السطح وبذلك تحصل على ضوء شمس أكثر، والذي لعله، بدوره، قد أدى إلى إنتاج المزيد من الأكسجين. وربما على الأقل، لا يمكن استبعاد أن ظهور الحياة حقيقية النواة قد أسهم أيضًا في هذا التغير المناخي، مثلًا بإنتاج المزيد من الأكسجين[30].

اقترح العالم الأمريكي أليكس بافلوف Alex Pavlov وزملاؤه في 2005 أنه من المحتمل أنه كان هناك سبب كوني لأرض كرة الثلج، أي غاز الهيدروجين ما بين النجوم والغبار الذي كان يطفو حول درب التبانة بكميات كبيرة[31]. خلال الـ 230 ميلون سنة التي استغرقتها مجموعتنا الشمسية لإكمال دورة واحدة حول مركز المجرة، لعل الأرض قد قابلت ثمانية من هذه السحب. ولعل تدفق هذه المواد قد اعترض ضوء الشمس بقدر ما كان ينسكب من ثلاثة انفجارات بركانية سنويًا، لكن لعله استمر أطول من ذلك بكثير. والتأثير الكلي لعله كان أرض كرة الثلج.

من الواضح، أن الكلمة الأخيرة لم تُنطق بعد حول السؤال عن سبب تحوُّل الأرض إلى كرة ثلج خلال هذه الفترة الزمنية. لكن من الواضح أيضًا، أن كل الكتاب يبحثون عن إجابات من حيث تدفقات الطاقة وظروف جولديلوكس. والأمر نفسه في حالة السؤال عن سبب أن الأرض لم تظل مجمَّدة. يقترح بعض العلماء أن الزيادة المؤقتة لظاهرة البراكين لعلها قد رفعت من حرارة سطح الأرض. والبديل، أن عملية تكتونية الصفائح قد حرَّكت القارات إلى أماكن فضَّلت أرضًا أكثر دفئًا. وأيًا كان الوضع، لعل نهاية أرض كرة الثلج قد أدت إلى ارتفاع مفاجئ في الأكسجين في المحيطات نتيجة لزيادة النشاط البيولوجي، ومن ثم أتاحت وقودًا وفيرًا لابتكارات متعدِّدة الخلايا. وقد يوضح ذلك سبب حدوث كلٍ من الإشعاعات التكيفية الإدياكارانية والكمبرية.

بقدر معرفتنا، كانت هذه العمليات فريدة من نوعها في التطور البيولوجي. بعد حدوث الانفجار الكمبري لأنواع الحياة، لم تصبح الظروف جولديلوكسية بعد ذلك لظهور نظم بنيوية عامة جديدة، لأن مثل هذه الكائنات الجديدة كان سيتم أكلها فورًا بواسطة حيوانات راسخة بالفعل قبل أن تتمكن من تطوير أي آليات دفاع مناسبة. ومن

الواضح، أن الناجين من العصر الكمبري تمتَّعوا بما يمكن تسميته «بداية متصدرة لا يمكن هزيمتها». وكما سنرى لاحقًا، فإن ظهور البداية المتصدِّرة التي لا يمكن هزيمتها هي ظاهرة أكثر عمومية في كلٍ من التطور البيولوجي والتطور البشري. وقد تفسِّر هذه الآلية أيضًا سبب أن كل أنواع الحياة المعروفة تبدو وكأنها تعود إلى سلفٍ مفرد واحد[32].

ظهور المخ والوعي

كان ظهور حيوانات لديها أمخاخ ووعي انتقالًا ضخمًا في التاريخ الكبير، وهو الذي أدى في النهاية إلى حيوانات تستطيع التأمل في تاريخ كل شيء. بشكل عام، فتح الطريق أمام احتمال تكوين صور عن العالم، وعن الكائن نفسه، في بنية من ثلاثة أبعاد لخلايا عصبية مترابطة معًا بشدة. وتسمح الأمخاخ أيضًا لهذه الأنواع التي تتملكها بأن تحلل المواقف، وتصمِّم خططًا، إضافة إلى الوصول إلى قرارات حول المسار المفضل للعمل. يُضاف إلى ذلك، بتوجيه أعضاء مثل الذيول، أو الزعانف أو الأطراف، يمكن للأنواع المجهزة بأمخاخ أن تجعل الأجساد تتحرَّك بشكل متعمَّد وتصل إلى نتائج تعتبر بعيدة عن متناول الكائنات الحية التي لا تملك مثل هذه الأعضاء التي تعالج البيانات. وعلى الأقل، بمساعدة الذاكرة يمكن لهذه الأنواع أن تتعلم من التجارب وتحاول أداء الوظائف بطرق جديدة.

ولا يزال فهم ظهور الأمخاخ والوعي ضئيلًا، حتى رغم أن الكثير من الدراسات كانت مكرسة لهذه القضية[33]. في 2005، اكتشف عالم الكيمياء الحيوية الهولندي كاريل فان دام Karel van Dam نموذجًا بسيطًا يثير الدهشة لعله يسهم في تفسير هذه الأمور[34]. يبدأ نموذجه بفكرة مقبولة بشكل عام: عند نقطة محددة في الزمن، ظهرت خلايا فردية مجهزة بحسَّاس كان في استطاعته رصد الطعام والخطر. وكانت هذه الخلايا تتباهى أيضًا بذيل صغير أو أكثر، وبمساعدتها كان في استطاعة هذه الخلايا أن تعوم مبتعدة عن المصدر المرصود أو تتحرك نحوه، تبعًا لما إذا كانت تحبه. وبمجرد أن أصبح الحسَّاس والذيل متصلين ببعضهما، ظهرت آلية جديدة للكائنات المجهرية التي تمتلك هذه الأعضاء لتقوم بعملية خاصة للاستبعاد العشوائي، لأنه كان من الواجب أن تكون هناك هبة بقاء للكائنات الحية التي تستطيع القيام بهذه الأمور بشكل أفضل. ويُضاف إلى ذلك، أن هذه الكائنات الحية المجهرية كان في استطاعتها أن تتعلم (على

أساس أن تحسين السلوك يقوم على التجربة) بتخزين معلومات عن الأحداث الماضية واستخدامها لأفعال مقررة. وصاغ ذلك في 1980 عالم البيولوجيا الأمريكي دانيل كوشلاند Daniel Koshland الأصغر كما يلي[35]:

«ليست لدى البكتيريا ذاكرة بعيدة المدى لأنها لا تحتاج إلى أمد ذاكرة طويل. تعيش البكتيريا في المتوسط عدة ساعات. ليس لديها فرصة لأن تتذكر محتويات جريدة الأمس أو أسماء أطفالها. وحيث إنها تتقطع لكي تبقى في عالم تنافسي إلى حد مدهش، فإنها لا تحمل جينات غير ضرورية. ومع ذلك، فإن ذاكرتها الزمنية قد جعلها التطور أقرب ما يكون إلى الكمال. وهي قصيرة، لأنه عليها أن تتذكر فقط ماضيها القريب، وهي ليست قصيرة جدًا لأنها تحتاج إلى الدقة لتقييم التدرجات الكيميائية».

والآن ما الذي يحدث، هكذا يتساءل فان دام، لو أن هذه الكائنات الحية المجهرية كانت قد طوَّرت حساسيْن، كليهما مرتبط بذيل واحد، خاصة لو أن هذين الحساسين كانا يطلقان إشارات مختلفة حول ما يجب أن يكون عليه اتجاه الحركة؟ قد يتوقَّع المرء أن ارتباطًا أكثر تفصيلًا قد ظهر بين الحساسين والذيل ويكون في استطاعته اتخاذ قرارات حول الفعل الذي يجب تنفيذه. لفعل ذلك بكفاءة، هناك حاجة إلى توليد صورة عن الموقف كما يستقبله الحسَّاسان، وبمساعدته يمكن اتخاذ هذه القرارات. بمجرد أن يحدث ذلك، كان في استطاعة هذه الكيانات الحية تكوين صورة أكثر استقلالًا حول العالم المحيط لأول مرة في التاريخ البيولوجي. كانت أكثر استقلالًا، لأنه كان هناك بعض الوقت للتفكير حول مسار الفعل الذي يجب تنفيذه بين المنبِّه الداخل ورد الفعل اللاحق. ولعل هذه الصورة كانت أول شكل للوعي. ومنذ ذلك الوقت، فإن أي تغير في نظام تكوين الصورة هذا الذي قام بتحسين حصد المادة والطاقة قد فضَّل البقاء طويل المدى لهذه الأنواع[36]. ولعل ذلك كان يحتوي على تخزين بيانات في بنك ذاكرة جنيني، بالإضافة إلى تحكم أفضل في الأعضاء التي جعلت الكائن الحي يتحرك في الاتجاه المرغوب فيه.

تبعًا لكاريل فان دام، لعل الكائنات الحية متعددة الخلايا قد تطوَّرت عبر مسارات مماثلة. ولعل عدة خلايا قامت بدور الحسَّاسات قد أصبحت مرتبطة بخلايا أخرى كان في استطاعتها معالجة المعلومات وإرسال الأوامر إلى الذيل. وبمجرد ظهور هذا

الوضع، لعل المركبات متعدِّدة الخلايا قد طوَّرت أمخاخًا، وطوَّرت رسم الخرائط والوعي، بالإضافة إلى سلوك يتم التحكم فيه، ما أدى في النهاية إلى كائنات حية مثلك ومثلي. طالما كانت هذه الصور وتأثيراتها على ظهور سلوك الكائن الحي قد قامت بتحسين فرص بقاء وتكاثر هذه الكائنات، لا بد أنه كانت هناك مكافأة إيجابية على الحصول على صور عن العالم الخارجي مناسبة للواقع بشكل مقبول.

بمرور الوقت، طوَّرت الكائنات الحية نطاقًا واسعًا بشكل غير مسبوق من الحسَّاسات، وبمساعدتها تعلمت شق طريقها إلى كل زاوية وشق -تقريبًا- على سطح الأرض. ورغم ذلك كان في استطاعة الكائنات البشرية فقط تطوير أدوات لم تعزز حساساتهم فقط لكنها أيضًا كشفت أجزاء من الطيف الكهرومغناطيسي، وخاصة موجات الإشعاع تحت الحمراء وفوق البنفسجية من أدنى الترددات إلى أعلاها، والتي لم تكن سهلة المنال من قبل لأي من الأنواع الأخرى.

زيادة وتوسع التعقد البيولوجي

منذ انفجار أنواع الحياة الكمبري، يمكن مشاهدة ظهور وفناء ما لا يُعد ولا يُحصى من الأنواع المعقَّدة، وكلها كان محاطًا بالكثير جدًا من الكائنات الحية البسيطة. وكان أغلب هذه الكائنات الحية، إن لم يكن كلها، مرتبطًا بشبكة طعام متشابكة. ورغم أنه خلال هذه الفترة الزمنية ظهر الكثير جدًا من الابتكارات الأصغر تلتها إشعاعات تكيفية، فإن ابتكارات رئيسية قليلة هي التي أدت بشكل أساسي إلى كائنات حية. ومن ثم فإن قصة التطوُّر البيولوجي معقَّدة إلى أقصى حد في تفاصيلها، ورغم ذلك فإنها بسيطة بالأحرى من وجهة نظر عامة[37].

لقد تبع التطور البيولوجي الكثير جدًا من الأحداث صعودًا ونزولًا. وبشكل خاص، كانت هناك خمسة أحداث انقراض رئيسية، وبعضها دمَّر نحو 90 في المائة من كل الأنواع، فقط لإتاحة مكان لأنواع جديدة. وأسباب أحداث الانقراض بالجملة هذه لم تُعرف جيدًا حتى الآن. وتتراوح التفسيرات الحالية بين أسباب داخلية، بما في ذلك انهيار سلاسل الغذاء، إلى أسباب خارجية مثل نشاط بركاني شديد مفاجئ، وتكتونية الصفائح التي نتجت عن أشكال متغيرة بشكل غير مسبوق للقارات والمحيطات، وتصادمات النيازك بل حتى تأثيرات سوبرنوفا قريب. وأيًا كان ما تسبَّب في الانقراض الجماعي، فإنه بمرور الوقت ارتدت الحياة دائمًا إلى نظام مماثل يتكوَّن من طيف من الكائنات الحية

تتراوح بين الكائنات بالغة البساطة إلى شديدة التعقد، من الكائنات الحية المجهرية إلى النباتات والحيوانات، بينما كان الميل الكلي نحو النباتات والحيوانات الأكثر تعقدًا.

بعد حدوث الانفجار الكمبري لأنواع الحياة، لم تنبثق أبدًا بعد ذلك الكائنات الحية الأكثر تعقُّدًا من كائنات حية مجهرية. من الواضح أنه منذ ذلك الحين كانت الضغوط الانتقائية تعمل ما حافظ على بساطة الكائنات الحية الصغيرة. وعلى العكس، بالنسبة للكثير من النباتات والحيوانات المعقدة بالفعل كان التعقد المتزايد استراتيجية بقاء جيدة، حتى رغم أن المحافظة عليه كانت أكثر تكلفة[38].

خلال الـ 500 مليون سنة الماضية، كانت عملية تكتونية الصفائح تتباطأ بينما أصبح النشاط البركاني أقل كثافة. ولقد اتسمت تحركات الصفائح التكتونية بحالات انتظام معينة. ومدفوعة بالطاقة المنبعثة من داخل الأرض، اندمجت المساحات الواسعة من الأرض ثلاث مرات على الأقل، وبذلك شكّلت قارة فائقة واحدة ضخمة ومحيطًا كبيرًا، فقط لكي تتفكك بعد ذلك من جديد[39]. ويطلق على أقدم قارة فائقة معروفة «رودينيا Rodinia». وكانت موجودة منذ ما بين 1,1 مليار و750 مليون سنة تقريبًا. وما بين 600 و540 مليون سنة، كانت هناك القارة الفائقة بانوتيا Pannotia، والتي جاءت بعدها القارة الفائقة الأكثر حداثةً بانجي Pangea. وكانت هذه المساحة الهائلة من الأرض موجودة بشكل دائم منذ ما بين 250 و170 مليون سنة[40].

بالنسبة للكائنات الحية المحاطة بالبر من جميع الجهات التي كانت تعيش في هذه الأجزاء المتحركة، كانت لذلك نتائج بعيدة المدى. خلال العصور التي اندمجت فيها كل القارات، كان في استطاعتها الحركة هنا وهناك بحرية وتتهاجن طالما كانت تنتمي إلى النوع نفسه. ورغم ذلك فبمجرد أن تحطّمت القارة الفائقة إلى قطع من جديد، وجد الكثير منها أنفسهم معزولين بشكل متزايد، وهو ما أدى إلى ظهور أنواع جديدة بل وحتى أجناس جديدة. ولعل تكوين مساحة واحدة واسعة من الأرض لم يكن مفضّلًا للأنواع البحرية التي تعيش في مياه البحر الضحلة، لأن هذه المساحات كانت تزداد بدرجة هائلة في الحجم خلال هذه الفترة الزمنية الخاصة بالقارة الفائقة. ونتجت عن عملية تكتونية الصفائح أيضًا تأثيرات حادة على الجوانب الأخرى من الجغرافيا بما في ذلك الطقس، ولا بد أنها جميعًا كانت لها تأثيرات على التطور البيولوجي.

خلال مليارات السنوات، ازداد الخرج الشمسي. ورغم ذلك لم ترتفع درجة حرارة

طقس الأرض نتيجة لذلك، لكن يبدو أنه تذبذب نتيجة للتأثيرات الموحدة لتكتونية الصفائح، ودورات ميلانكوف وتأثيرات الحياة. ولعل مدار مجموعتنا الشمسية حول مركز المجرة قد أدى أيضًا قريبًا إلى تأثيرات كونية منتظمة على طقس الأرض، بينما الاصطدام نادر الحدوث بأجرام سماوية مع كوكبنا والانفجارات المحتملة لسوبرنوفا قريب قد غيَّر أيضًا من سطح كوكبنا. ويُضاف إلى ذلك، أنه نتيجة للاحتكاك المتعلق بالمد والجزر حدث تباطؤ لدوران الأرض، وهو ما أدى إلى نهار وليل أطول. وكل الحيوانات التي كانت قد طوَّرت ساعات بيولوجية كانت متناغمة بدقة مع هذا الإيقاع الكوكبي لا بد أنها شعرت بضغط لكي تتكيَّف. وإذا رأينا الأمر من وجهة نظر عامة، مرة بعد الأخرى، فإن قصة الحياة هي قصة تدفقات الطاقة خلال المادة في ظروف جولديلوكس معينة تؤدي إلى ظهور واندثار ما لا يحصى من أنواع التعقد.

غزو اليابسة

حتى نحو 400 مليون سنة مضت، كانت كل الكائنات الحية المعقَّدة تعيش بالضرورة في المحيطات، ما حماها من الإشعاع الشمسي فوق البنفسجي القوي. ومع ذلك، أدَّت الكميات المتنامية من الأكسجين الحر في الغلاف الجوي إلى ظهور طبقة أوزون في الاستراتوسفير والتي بدأت تحمي الحياة من الإشعاع فوق البنفسجي. وليس من الواضح متى أصبحت طبقة أوزون الاستراتوسفير بالسمك الكافي لكي تحمي أي غزاة مغامرين لليابسة.

منذ نحو 400 مليون سنة، كانت بعض النباتات قد تركت مهد جيرانها الحامية في المحيط وبدأت تستعمر كل الكوكب. وما أسرع ما تبعتها الحيوانات. ومع ذلك، فإن الأرجح أن هذه الأنواع الجسورة قد سبقها الكثير من الكائنات الحية المجهرية منذ مدة زمنية مجهولة. ولعل أنواع الحياة الدقيقة هذه تركت فقط آثارًا قليلة في السجل الجيولوجي، لو كان لها أي سجل.

لم يكن ذلك تحوُّلًا سهلًا. وتبعًا لعالمي البيولوجيا الأمريكي جيمس جولد James Gould ووليام كيتون[41] William Keeton:

> «أغلب مشاكل الحياة على اليابسة يرتبط بالحاجة إلى كميات غزيرة من المياه. والماء بالنسبة للنباتات أكثر أهمية بكثير منه بالنسبة للكائنات الحية الأخرى. على سبيل المثال، تعتمد النباتات عليه للحصول على مواد خام -مثل الضوء، وغاز ثاني

أكسيد الكربون، والنتروجين المثبّت، والمعادن، إلخ..- والتي تكون عادة خفيفة التركيز جدًا. ونتيجة لذلك، طورت النباتات نسبة سطح إلى حجم هائلة، وهو ما جعل المساحة المتاحة لجمع الضوء والمواد المغذية أفضل من المعتاد».

نتيجة لذلك، تُبخِّر النباتات كميات هائلة من الماء التي يجب التزوُّد بها من جديد. ورغم الأهمية الكبيرة لتوفر المياه فإنها تُعدُّ واحدة فقط من مشاكل الكائنات الحية التي يجب أن تتصارع معها عندما تبدأ العيش على اليابسة. والأكثر جدارة بالملاحظة، احتاجت لأن تحمي نفسها ضد تأثيرات ضوء الشمس التي «لا تزال» ضارة، بينما تحاول العثور على كميات كافية من المادة والطاقة لكي تحافظ على استمرار تعقدها. ولأسباب مماثلة، وجدت الحيوانات أن هذا التحوُّل صعب أيضًا. ونتيجة لذلك، كان على كلٍ من نباتات وحيوانات اليابسة أن تطور مكانًا مناسبًا يضمن ظروف جولديلوكس ليس فقّط لأنفسها ولكن أيضًا لنسلها الضعيف. وبينما طوَّرت النباتات بذور صلبة لهذا الغرض، بدأت الحيوانات في وضع بيض له قشور قوية، وهو الذي وفَّر ظروف جولديلوكس رطبة للمولود المستقبلي على اليابسة. وحدث بعد ذلك فقط بكثير ابتكار متطوِّر للمحافظة على الأجنة في داخل جسم الكائن، وهو ما جعل البيض ذو القشرة الصلبة زائدًا عما هو ضروري.

ولأن هذه الابتكارات كانت تكلفتها باهظة من حيث المادة والطاقة، فلا بد أنه كان هناك ما يتم دفعة مقابل ذلك. أولًا، كانت كمية الإشعاع الشمسي الذي يمكن الإمساك به على اليابسة أكثر منه في المحيطات. و نتيجة لذلك، فإن البحَّارين قليلي الخبرة الجدد يمكنهم حصد المزيد من الطاقة أكثر من أقاربهم المائيين. ثانيًا، بالذهاب إلى اليابسة استطاعت الكائنات الحية الهروب من المنافسة الشرسة المفترَضة في الماء. ونتيجة لهذه المميزات، انتشرت الحياة تقريبًا على كل سطح الأرض، وكان يحد منها فقط نقص المياه ودرجات الحرارة التي كانت إما منخفضة جدًا أو مرتفعة جدًا.

وسمح ظهور الغلاف الجوي الغني بالأكسجين للنار أن تشتعل للمرة الأولى في تاريخ الأرض. لكن طالما لم تكن هناك حياة على اليابسة، لم يكن هناك شيء يمكن أن تشتعل فيه النار (بعض البحيرات الجافة النادرة الممتلئة بكتل حيوية ميتة ربما تعتبر استثناء). بعبارة أخرى، قد تبدأ الحرائق في الاشتعال فقط بعد تراكم كميات كافية من الكتل الحيوية القابلة للاشتعال في الأماكن الجافة. وبعد ال 400 مليون سنة التالية،

تغيرت الحرائق تبعًا للظروف. خلال العصرين الفحمي والبرمي (منذ ما بين 360 و248 مليون سنة)، كانت النسبة المئوية للأكسجين الحر في الغلاف الجوي قد وصلت تقريبًا إلى 35 في المائة، ما جعل أنواع الحياة العملاقة ممكنة وربما أيضًا الحرائق العملاقة. ولم يكن في استطاعة محتوى الأكسجين أن يرتفع أكثر من ذلك، لأن هذا كان سيؤدي إلى اشتعال تلقائي. وأدت دورة الارتجاع السلبي هذه إلى عملية تنظيم ذاتي تلقائية، والتي حدَّت من النسبة المئوية للأكسجين الحر في الغلاف الجوي. وبعد انتهاء هذا العصر للوفرة، لعل النسبة المئوية للأكسجين قد استقرت حول 21 في المائة خلال الـ 150 مليون سنة الماضية[42].

خلال العصرين الديفوني Devonian والفحمي Carboniferous (منذ 290-408 مليون سنة)، تراكمت كمية كبيرة من الكتلة الأحيائية. وفي ذلك الزمن، كانت هناك مستنقعات دافئة هائلة حيث نمت الغابات. وعندما ماتت النباتات والأشجار، تم دفنها في الماء الحمضي وتغطت بعد ذلك غالبًا بالرواسب. ونتج عن ذلك مزارع الفحم والتي غذَّت بعد ذلك الثورة الصناعية. ومع ذلك، ظهرت بعد نهاية العصر الفحمي قلة قليلة جدًا من هذه التراكمات واسعة النطاق للكتلة الأحيائية. وعادة، تصاحب هذا الهبوط أحوال أبرد بكثير ناتجة عن ظهور القارة الفائقة بانجي، والتي خلقت أحوالًا غير مفضَّلة لوجود مستنقعات الغابة الدافئة الكبيرة. ورغم ذلك أتساءل حول ما إذا كان من المحتمل أن هذا التغير كان يرتبط أيضًا بظهور الحيوانات في العصر البرمي اللاحق (منذ 248-290 مليون سنة) الذي أكل النباتات بشكل أكثر كفاءة، لأنها كانت قد طوَّرت قنوات هضمية متخصِّصة[43]. وقبل ذلك الزمن، كان في استطاعة الحيوانات والكائنات الحية المجهرية فقط هضم النباتات التي ماتت بالفعل. ومن المفترض أن مخزونات النفط الهائلة في الشرق الأوسط، على سبيل المثال، قد تشكَّلت منذ نحو 150 مليون سنة من أجساد الكائنات الحية البحرية التي ازدهرت في البحار الضحلة الدافئة[44].

مزيد من التعقد المتزايد

رغم أن الحياة ظلت تتطوَّر خلال الـ 300 مليون سنة التالية، يمكن بصعوبة وصف هذه التطورات بأنها مذهلة مقارنة بانفجار أنواع الحياة الكمبري. على سطح الأرض، ظلت ظروف جولديلوكس متذبذبة، بينما من المحتمل أنها شهدت نزعة تبريد طويلة

المدى. ومع ذلك، لم يتغيَّر النمط العام للتطور البيولوجي. ولقد تأكد نطاق متسع من الأنواع بمرور الزمن بواسطة بعض من أحداث الانقراض الأكبر، إضافة إلى الكثير جدًا من الأحداث الأصغر.

ورغم ذلك فإنه داخل هذا النمط العام أدت ابتكارات أصغر غالبًا إلى إشعاعات تكيفية، على سبيل المثال، ظهور أزهار منتجة للرحيق تجعل التبادل الجنسي للجينات ممكنًا بتكلفة أقل، لأنها لم تعد تعتمد على إنتاج كميات كبيرة من غبار الطلع الذي تحمله الريح، والذي لا يصل منه إلى النباتات الأخرى سوى كمية صغيرة. وهو يعتمد بدلًا عن ذلك على كميات قليلة جدًا من غبار الطلع، الذي يتم نقله انتقائيًا من نبات إلى نبات بواسطة حشرات معينة، التي تستفيد من الرحيق الذي توفره النباتات بدورها. من الواضح أن إنتاج النباتات للرحيق كان أرخص، وأكثر كفاءة، من إنتاج كميات كبيرة من غبار الطلع. بالمثل، فإن ظهور الفواكه جذب الحيوانات التي بأكلها لها، ساعدت على نشر البذور بشكل أكثر فاعلية عبر قنواتها الهضمية. أنتجت كل هذه التطوُّرات أشكالًا كثيرة من الاعتماد المتبادل بين الحياة النباتية والحياة الحيوانية في ذلك الزمن. وحدثت هذه الابتكارات للإشعاعات التكيفية عبر كل الأرض، وبذلك أنتجت مجموعة تتغير باستمرار من أنواع الحياة.

خلال ذلك العصر، تعلم الكثير جدًا من النباتات والحيوانات أن تتعلم، أو تتكيف مع، ظروف جولديلوكس المحلية أو الإقليمية بطرق دعَّمت بقاءها الخاص. وجاءت بعض النباتات، على سبيل المثال، بأعداد كبيرة جدًا وجد المفترسون أنه من المستحيل تقريبًا اكتساحها بالكامل. ومن ثم أطلق ألكسندر فون هامبولدت، وعلى إثره تشارلز داروين، على هذه الأنواع «النباتات الاجتماعية»[45]. ولعل القارئ يتذكر أن استراتيجية التعلُّق معًا لتحسين فرص بقاء الكائن تم استخدامها في وقت أقدم بواسطة البكتيريا الزرقاء cyanobacteria بينما كانت تتجمَّع لتشكيل ستروماتوليتات stromatolites. ولقد اتبعت بعض الحيوانات استراتيجية مماثلة بتكوين قطعان كبيرة. وحفَّز ذلك عمليات الانتقاء الطبيعي حيث تم استبعاد الأفراد الأكثر ضعفًا والأكثر تعرضًا للمخاطر، بشكل غير عشوائي. ولقد أوجدت التجمعات الكبيرة للنباتات، والحيوانات والكائنات الحية المجهرية معًا كتلًا أحيائية مثل السافانا، والغابات، ومناطق التندرة والحيد المرجاني، وكلها تتصف بظروف جولديلوكس خاصة. ولقد أوجدت النباتات

أيضًا ظروف جولديلوكس لنفسها، مثلًا بإسقاط الأوراق، ومن ثم إنتاج دبال في التربة يدعم وجودها المستمر. وتعلم الكثير من الحيوانات أيضًا، بما في ذلك الحشرات، إنشاء ظروف جولديلوكس بنشاط. وهناك بضع أمثلة مألوفة تتضمن بناء الطيور للأعشاش، وحفر الأرانب للحفر وبناء النحل والنمل لمساكنها المعقدة.

وخلال هذه العملية، أصبحت أمخاخ بعض الحيوانات كبيرة وأكثر تعقدًا. ولأن الأمخاخ حكيمة في الطاقة باهظة التكلفة، لا بد أنها كانت ميزة في حال امتلاكها، أي قدرتها على الحصول على المادة والطاقة بشكل أكثر كفاءة بينما تتجنب أن تصبح طعامًا لكائن آخر. بعبارة أخرى، لا بد أن الحيوانات التي تملك أمخاخًا قد أصبحت أفضل في الحصول على الطعام والدفاع عن نفسها.

وأنواع الطعام التي تأكلها الحيوانات تحدِّد تطورها إلى حد كبير. ولدى الحيوانات التي تستهلك النباتات مدخل إلى طعام من السهل العثور عليه نسبيًا. ورغم ذلك فإنه يكون في الغالب منخفضًا نسبيًا في محتوى الطاقة ومن الصعب هضمه. ونتيجة لذلك، يكون على الحيوانات الكبيرة التي تتغذَّى على النباتات أن تأكل كميات كبيرة من هذا الطعام. وقد لا يكون العثور على مثل هذه الموارد بالغ الصعوبة، لكن هذه الحيوانات تحتاج عادة إلى الانتقال هنا وهناك متتبِّعة النباتات لاستغلالها على مدار العام بكامله. ومن أجل الدفاع عن نفسها فإنها تعتمد على الأعداد والسرعة، بالإضافة إلى أسلحة مثل القرون والحوافر. وهذا سبب رئيسي في أن هذه الحيوانات تعيش في قطعان. ونتيجة لذلك، فإنها تحتاج إلى أمخاخ تساعدها في أداء كل هذه المهام، بما في ذلك تطوير نظام اجتماعي.

والمفترسون، على العكس، يأكلون طعامًا ذا نوعية مرتفعة من حيث المادة والطاقة اللذين يسهُل هضْمهما. وقد يكون من الصعب الحصول على هذا النوع من الطعام. وبالتالي، يحتاج المفترسون إلى سرعة عالية، وقوة، وتناسق جسم ممتاز وأسلحة فاعلة مثل الأسنان الحادة. ولأن طعامها من الصعب الحصول عليه، فإنّ المفترسين يفضلون غالبًا العمل بمفردهم أو في جماعات صغيرة. ولا يحتاجون عادة أية أسلحة إضافية، لأن أسلحتهم الهجومية تساعدهم أيضًا على تجنب التهديدات من الحيوانات الأخرى. كل ذلك وضع حدودًا لاحتمالات أن يصبح المفترسون حيوانات اجتماعية.

منذ نحو 200 مليون سنة، ربما كان في استطاعة الحيوانات ذات الدم الحار

المحافظة على درجة حرارة جسمها. وعندما فعلت ذلك، كان في استطاعتها المحافظة على سرعة ردود أفعالها الكيميائية الحيوية الخاصة بمعدل مستقر، وأيضًا عندما تتغيَّر درجة حرارة البيئة. وجاء ذلك مقابل استهلاك طاقة مرتفع جدًا. وامتلاك الدم الحار كان له أهمية خاصة للحيوانات ذات الأمخاخ الكبيرة، لأن الجهاز العصبي المعقد يتطلب بالأحرى درجة حرارة جسم ثابتة[46]. وليس من المؤكد متى ظهرت صفة تملك دم حار. بل إن بعض علماء البيولوجيا يرون أن بضعة ديناصورات، والتي كان يوجد منها الكثير جدًا في ذلك الزمن، كان لديها دم حار بالفعل، وأنه بمرور الزمن انحدر من نسلها كلٌ من الطيور والثدييات.

منذ ما بين 200 و63 مليون سنة، كانت للديناصورات الهيمنة العظمى، وبعدها اصطدم كوكب وأنهى على سيطرتها على وجه الأرض بأن أدى إلى «شتاء نووي». ولعل انفجارات بركانية ضخمة حدثت في وقت متزامن تقريبًا في الهند، ونتجت عنها تدفقات من الحمم تُعرف الآن باسم «شباك ديكان Deccan»، قد أسهمت في اندثار الديناصورات بأن سببت ظاهرة مماثلة على الكرة الأرضية. بالفعل، قد يتساءل المرء حول ما إذا كان اصطدام الكويكب الشهير على حافة ما يعرف الآن باسم شبه جزيرة يوكاتان Yucatan قد أحدث ارتجافًا لقشرة الأرض كان من الشدة بحيث سبب انفجارات بركانية على الجانب الآخر من الأرض. وأيًا كان ما حدث، لأن الثدييات المبكرة التي بقيت حية كانت ذات دم حار، لعله كان في استطاعتها أن تنجو من الظروف الناجمة الأكثر برودة بشكل أفضل من الحيوانات ذات الدم البارد[47].

بفضل ظروف جولديلوكس الجديدة هذه، والتي حافظت عليها الثدييات داخلها، انتشرت الحيوانات ذات الدم الحار وذات الأمخاخ الكبيرة نسبيًا بالتالي في أجزاء كثيرة من العالم الذي اتصف بظروف متغيِّرة على نطاق واسع. وعندما حدث لها ذلك، طوَّرت بعض هذه الحيوانات أمخاخًا أكبر أيضًا. في الفصلين القادمين سوف نرى كيف نجح واحد من هذه الأنواع في وضع نفسه على قمة هرم الغذاء، وأتى ليهيمن على العالم.

الفصل السادس

التاريخ البشري المبكِّر
ظهور أعظم تعقُّد معروف

مقدمة

تقدم حكاية التاريخ البشري المكتوبة من وجهة نظر «بزوغ الأرض» تصورًا لماضينا المشترك تختلف عن الحكايات الرسمية. يبدأ أغلب الحكايات التاريخية الأكاديمية منذ ما بين 6000 و5000 آلاف سنة، عندما تم إنتاج أقدم السجلات المكتوبة المعروفة. ويُعتبر عصر الحضارات التي ليست لها لغة مكتوبة، ويطلق عليه «ما قبل التاريخ»، هو مجال لعلماء الآثار وعلماء الأنثروبولوجيا ما قبل التاريخ. ومع ذلك، مثل المرحلة المبكِّرة الطويلة للتطور البيولوجي، الذي حدثت خلاله الكثير من التطورات المهمة، فإن المرحلة المبكرة الطويلة للتاريخ البشري، والتي بدأت منذ نحو 4 ملايين سنة، شهدت أيضًا تطورات رئيسية، أكثرها أهمية التغير من بنية الكائنات الشبيهة بالقرد من الناحية الوراثية والسلوكية إلى أنماط تتصف بالبشر المعاصرين. سوف يتعامل هذا الفصل مع هذه التغيرات، بينما الـ 10 آلاف سنة الماضية في التاريخ البشري سوف تأتي في الفصل السابع[1].

لقد تأثَّر تاريخ نوعنا بعمق بالظروف الطبيعية السائدة، والتي تتضمن الترتيبات دائمة التغير لمساحات الأرض الواسعة والمحيطات، وتغيرات المناخ، وتوافر مياه عذبة، ومواطن نباتات خاصة، والحيوانات والكائنات الحية المجهرية، وطبيعة اليابسة، بما في ذلك التربة، والمصادر المعدنية، والجبال أو الأرض المنبسطة، والأنهار، والقُرب

من البحار والمحيطات، والزلازل والانفجارات البركانية، وربما لا يكون أقلها شأنًا، وأخيرًا، تصادمات النيازك بل وربما أحداث سوبرنوفا. كل هذه الصفات، وربما الكثير جدًا منها، لعله قد اتسم بأنماط منتظمة تقريبًا. وبينما لم يكن الكثير من هذه الأنواع مفيدة دائمًا للتعقد البشري، لم يقوِّضه أي منها بالكامل حتى الآن.

بمرور الزمن، تعلم البشر أن يخلقوا، ويتعامَلوا مع، ويستغلوا ظروفًا طبيعية كثيرة جدًا لصالحهم. وعندما فعلوا ذلك، ابتكروا نظمًا أكثر تعقدًا غير مسبوقة لظروف جولديلوكس، والتي ضمنت للبشر، حتى الآن، البقاء والتكاثر. ونتيجة لذلك، يمثل التاريخ البشري مرحلة جديدة من الناحية الأساسية في التطور البيولوجي. لأنه خلال كل تاريخ الحياة، لم يوجد كائن حي آخر غيَّر وجه الأرض بمثل هذه الطرق العميقة في مثل هذه الفترة الزمنية القصيرة. لقد استطاع البشر فعْل ذلك بفضْل قدرتهم غير المسبوقة على معالجة، وتخزين ونقل كميات هائلة من المعلومات. وتعرف هذه العملية ب «الثقافة». وبينما اتصف الكثير من الحيوانات بأنواع من التعلم الثقافي، فإن البشر هم فقط الذين استخدموها في مثل هذا الحد الكبير من تشكيل كلٍّ من تاريخهم الخاص والبيئة الطبيعية المحيطة بهم. ولهذا السبب، لعل البشر سيكونون النوع المتكيِّف الأكثر تعقُّدًا الذي ظهر على كوكبنا.

الذي جعل البشر مختلفين

الأساس البيولوجي للقدرة البشرية على ابتكار كميات غير مسبوقة من التعقد، يمكن العثور عليه في حقيقة أننا الحيوانات المزوَّدة -أكثر من غيرها- بالمخ، والتي سكنتْ هذا الكوكب حتى الآن. وقد لا تكون مصادفة أن الحيوانات التي لديها صفات كلٍّ من الآكلة للنبات والمفترسة قد طوَّرت أكبر الأمخاخ وأكثرها تعقدًا لكل وزن للجسم وحدث أن هيمنت على العالم. الاختلاف الرئيسي بيننا وبين أقرب الحيوانات إلينا، وهي حيوانات الشيمبانزي، هي ما يرتبط بحجم الجسم، فأمخاخنا أكبر ثلاث مرات ما لدى هذه القردة العليا، بينما يبدو أن أمخاخنا أكثر تعقدًا أيضًا. ولعل تطور المخ البشري قد تعزَّز بالكثير جدًا من التغيرات الجيولوجية والبيولوجية غير المرتبطة، رغم أن التطور العام كان ينزع نحو نوع بمخ أكبر وأكثر تعقدًا.

تكوّن مخنا من أعداد هائلة من الخلايا، مترابطة بشكل تبادليٍّ بطرق معقدة حتى إن العلماء لا يزالون يجهلون تفاصيل عملها معًا. وأكثر كثيرًا من مخ أي حيوان آخر، تقوم

الأمخاخ البشرية بتسهيل رسم الخرائط والاتصال، بالإضافة إلى التناسق والتكيف السلوكي. ونتيجة لذلك، تسمح الأمخاخ الكبيرة والمعقدة للبشر بأن يكونوا أفضل إلى حد كبير في الحصول على المادة والطاقة، بالإضافة إلى ابتكار أنواع غير مسبوقة من التعقد، بما في ذلك تغيير الظروف السائدة إلى أشكال تمت ملاحظتها باعتبارها أكثر فائدة[2].

وضرر امتلاك مخ كبير هو أنه يسرف في استهلاك كمية كبيرة من الطاقة. في المتوسط، تصل كثافة الطاقة للمخ البشري إلى قيمة ضخمة 15 وات/ كج، بينما كثافة الطاقة الكلية للأجسام البشرية تصل فقط إلى نحو 2 وات/ كج[3]. ويصيغ علماء الأعصاب الأمريكيون بيير ماجستريتي Pierre Magistretti، ولوك بلرين Luc Pellerin وجان -لوك مارتين Jean-Luc Martin هذا الأمر كما يلي[4]:

«رغم أن المخ يمثل 2 في المائة فقط من وزن الجسم، فإنه يستقبل 15 في المائة من النتاج القلبي (حجم ما يضخه القلب من الدم في دقيقة واحدة)، و20 في المائة من استهلاك الجسم الكلي للأكسجين، و25 في المائة من انتفاع الجسم الكلي من الجلوكوز. بتدفق إجمالي للدم 57 ملليلتر/100 ج. دقيقة، يستخرج المخ 50 في المائة تقريبًا من الأكسجين و10 في المائة من الجلوكوز من الدم الشرياني».

ولا بد أن هذا الاستهلاك الضخم للطاقة كان ميزة كبيرة. ولولا ذلك، لكان قد تم استبعاد الأمخاخ الكبيرة بشكل غير عشوائي منذ وقت طويل. ورغم ذلك، بينما أصبحت أمخاخهم أكبر، تضاعف البشر، على الرغم من أن نوعنا لم يمتلك أبدًا أسلحة بيولوجية رئيسية مثل القرون، أو الحوافر أو السموم. من الواضح، أنه حتى الوقت الراهن تجاوزت كميات المادة والطاقة التي استطاع البشر الحصول عليها بفضل أمخاخهم الأكبر والأكثر تعقدًا، الاستهلاك المتزايد للموارد بواسطة أمخاخهم.

القوة الرئيسية للأمخاخ هي أنها تقوم بتشغيل برمجيات معقدة يمكنها من حيث المبدأ أن تتكيف بسرعة، تبعًا للظروف. وهذا يجعل الحيوانات ذات المخ أكثر مرونة وتكيفًا بكثير، وبذلك تكون أكثر كفاءة من الكائنات الحية الأخرى. وعلى عكس الآلية السائدة للتكيف في التطور البيولوجي، حيث يحدث تغير نتيجة للاختلاف الوراثي، يفعل البشر ذلك بتغيير تصورهم عن العالم المحيط -ما يسمى بالثقافة- وبتعديل

سلوكهم تبعًا لذلك. بعبارة أخرى، بفضل الثقافة ليس على البشر انتظار ظهور تغير وراثي تلقائي قد يساعد الأفراد المحظوظين على النجاة من الظروف المتغيرة، بينما يحدث انقراض للكائنات الحية الأخرى. يحتاج البشر فقط إلى تغيير سلوكهم، وليس جيناتهم.

ولكي تكون البرمجيات الثقافة فاعلة، يجب مشاركة الناس الآخرين فيها، بما في ذلك الجيل التالي. ومن ثم، فإن أي زيادة في فاعلية المخ يجب أن تصاحبها تحسينات في الاتصال. منذ بضع سنوات مضت، قدَّم دافيد كريستيان مصطلح «التعلم الجماعي» لوصف هذه العملية. من وجهة نظر كريستيان، يعمل التعلم الجماعي من أجل البشر بشكل مماثل لطرق الانتقاء الطبيعي (الاستبعاد غير العشوائي) في عمله في التاريخ البيولوجي، بينما تعتمد سرعة التعلم الثقافي من الناحية الأساسية على كلٍ من عدد الناس المرتبطين معًا وعدد الارتباطات[5].

ليس التعلم الجماعي صفة بشرية على وجه الحصر. فالكثير من الحيوانات الأخرى، بما في ذلك القردة والقردة العليا، لديها أنواع من التعلم الثقافي. ولا تزال نوعية هذا التعلم قيد التقييم بواسطة الباحثين. والتطورات بعيدة المدى للتعلُّم الجماعي بين الحيوانات الأخرى من المفترض أنها مجهولة نظرًا لنقص الأدلة[6]. ورغم ذلك يبدو الأمر كما لو أن البشر قد شهدوا الكثير جدًا من عمليات التعلم الثقافي المعقدة. ولعل ذلك قد ارتبط بحقيقة أنه بينما الكثير جدًا من الحيوانات الشابة تميل إلى تقليد سلوك البالغين، لم تتم أبدًا ملاحظة أن الحيوانات البالغة تعلم بنشاط الجيل الثاني في أنواع أخرى. من الواضح، أنه بين البشر يتم الوصول إلى نقل المعرفة الجماعية إلى الجيل التالي بشكل أكثر فاعلية.

في التطور البيولوجي، فتح ظهور اللغة الوراثية المخزَّنة في الجينوم الطريق أمام احتمال نقل معلومات وراثية غير صحيحة. بالمثل في تاريخ البشر، فإن النوعية المتحسِّنة للغات الرمزية جعلت من الممكن ظهور أنواع أكثر قوة بشكل غير مسبوق من المعلومات الرمزية غير الصحيحة. ولعل ذلك قد أعطى ضمانًا لكليهما، أو نقص ذلك، وهو موضوع رئيسي في تاريخ البشر، خاصة لو كان الأمر يتعلق بجوانب مهمة في الحياة مثل المحافظة على تعقد أحد الأشخاص، والحصول على ما يكفي من المادة والطاقة وابتكار أو المحافظة على ظروف جولديلوكس.

بمرور الزمن، لا بد أن عمليات التعلم الثقافي قد أدَّت حتمًا إلى عملية سوف أطلق عليها «النسيان الثقافي». ولم يحدث أن كل نوع من المعرفة كان ذات يوم مشتركًا بين جماعات البشر قد وصل إلى الوقت الراهن. على العكس، عبر الدهور، تم فقد كمية لا يمكن قياسها من المعارف الجماعية. ولو لم يحدث ذلك، لكان من الأسهل إعادة بناء التاريخ البشري، لأن لدينا كميات من المفترض أنها لا تنتهي من التفاصيل في متناوَل أيدينا. حينئذ كان من المحتمل ألا يتم التغلب على مشكلتنا الرئيسية بالبيانات المتوافرة.

خلال أغلب التاريخ البشري المبكِّر، ربما كانت الثقافة مخزَّنة في أغلبها في الأمخاخ البشرية. وطالما كان البشر عاجزين عن إنتاج رموز مادية تجريدية أخرى يمكن بمساعدتها تلخيص المعارف، وتخزينها ونقلها بكفاءة، كانت هناك حدود قاسية على كمية المعلومات التي يمكن للناس تكديسها وعلى مصداقيتها أيضًا، بينما لعله كان من الممكن أن تكون هناك هبة كبيرة على المحافظة على المعلومات بسيطة بقدر الإمكان. من ثم ليس من المدهش أنه في الخرائط، العقلية أو خلافها، يتم التأكيد على المميزات الرئيسية على حساب التفاصيل. وتصبح الأمخاخ الأفضل عندما تفعل ذلك، أكثر فاعلية بقدر استطاعتها.

بمجرد أن يبدأ الناس في إنتاج أدوات، والفن بعد ذلك بكثير، تم تخزين بعض من المعلومات في الأشياء الخارجية حول كيفية إنجازها والمعنى الذي قد تحمله. لكن هذه المعلومات كانت غامضة دائمًا، لأن تفسيرها يعتمد إلى حد كبير جدًا على وجود أشخاص قادرين على شرح كيفية صنع هذه الأدوات والغرض من استخدامها. ونتيجة لذلك، لا نزال نخمِّن الغرض من استخدام الأدوات المبكِّرة بالإضافة إلى ما كانت تعنيه الأنواع المبكرة من الفن بالنسبة للناس الذين أنتجوها، بل وحتى متى كانت هذه الرسومات، وغالبًا ما كانت عن حيوانات، قابلة للتعرف عليها.

حدث فقط عندما بدأ الناس في الكتابة، بل وأكثر من ذلك عندما تم ابتكار الطباعة، أن الأفكار لم تعد في حاجة إلى التخزين في الأمخاخ، ولكن يمكن بدلًا عن ذلك تسجيلها في مكان آخر جدير بالثقة إلى حد كبير. ولقد حرَّر ذلك مكانًا للتخزين في الأمخاخ، بينما جعل تبادل المعلومات أسهل جدًا. ومن ثم، أدَّت هذه التطورات إلى انفجار في التعلم الجماعي، خاصة عندما أصبح الناس أكثر عددًا وأفضل في

الاتصال المتبادل. وفي وقت أكثر حداثة، أدت تقنية تخزين وتبادل بيانات الحاسب إلى انفجارات مماثلة في التعلم الجماعي. ولقد سمحت كل هذه الخطوات التطورية للبشر بأن يصبحوا أفضل في ما يخص الحصول على المادة والطاقة، وأيضًا بإنشاء تعقد وظروف جولديلوكس. يُضاف إلى ذلك، أنه نتيجة لطرق تحسين تسجيل وتخزين المعلومات، قلّت عملية النسيان الثقافي، رغم أنها لم تختفِ.

الطاقة والتعقد

بمرور الزمن، كان البشر قد راكموا كميات غير مسبوقة من التعقد، تتراوح بين الأدوات البسيطة جدًا والمصانع الضخمة التي تعمل بالحواسيب. وفي هذا الإطار، لا يعتبر كل البشر استثنائيين في ذلك تمامًا. الكثير جدًا من الحيوانات ابتكر أيضًا أنواعًا من التعقد المشيَّد. بنت الطيور الأعشاش، على سبيل المثال، بينما صنعت حيوانات القندس السدود، وحفرت الأرانب الحفر، وأنشأ النحل الخلايا، وبنى النمل الأعشاش ونسج العنكبوت الشباك. وهذا النوع من السلوك معروف في البيولوجيا بأنه «بناء البيئة الملائمة»[7]. وأصبحت هذه الأنواع التي تشترك في بناء البيئة الملائمة متكيفة بالتالي مع هذه الظروف، خاصة لو استمرت هذه الشروط موجودة عبر الكثير من الأجيال. والاختلاف الأساسي بين طرق بناء البشر والحيوانات الأخرى للتعقد هو أن الحيوانات نادرًا جدًا، إن كانت تفعل ذلك على أيٍّ حال، ما تستخدم أدوات مبتكرة لإنجاز الأمور. ولقد تعلم البشر صنع واستخدام الأدوات بفضل حقيقة أن مشيهم منتصبي القامة حرَّر أيديهم والتي، بدورها، جعلت من الممكن وجود التناسق غير المسبوق بين أعينهم المجسمة، وأمخاخهم المتطوِّرة وأيديهم الأكثر براعة إلى حد كبير.

البشر ليسوا فقط استثنائيين من حيث إنهم بدأوا في استخدام مجموعة أدوات دائمة التوسع، بل هم الجنس الوحيد على هذا الكوكب الذي أنشأ أنواعًا من التعقد تستخدم موارد طاقة خارجية: وخاصة آلات كثيرة جدًا، وأبحر بالمراكب، على سبيل المثال. كان هذا تطورًا أساسيًا جديدًا، ولم تكن له سابقة في التاريخ الكبير. ولعل هذه القدرة قد ظهرت للمرة الأولى منذ ما بين 0,5 و1,5 مليون سنة، عندما بدأ البشر في السيطرة على النار. ومنذ 50 ألف سنة على الأقل، تم استخدام الطاقة المختزنة في الهواء والماء للملاحة، وبعد ذلك بوقت طويل، من أجل تشغيل أولى الماكينات. ومنذ 10 آلاف سنة على الأقل، تعلم البشر زرع النباتات وترويض الحيوانات وبذلك أمكنهم

التحكم في هذه التدفّقات المهمة للمادة والطاقة. وبعد ذلك بوقت قصير جدًا، تعلّموا أيضًا استخدام القوة العضلية للحيوانات. ومنذ نحو 250 سنة، بدأ استخدام الوقود الأحفوري على نطاق واسع لتشغيل ماكينات من مختلف الأنواع، وبذلك تمّ ابتكار الكميات غير المحدودة تقريبًا من التعقد المشيد التي نألفها في الوقت الراهن.

وطالما كان البشر والحيوانات يستخدمون قوّتهم العضلية الخاصة فقط لبناء أنواع من التعقّد، كانت الطاقة تتدفّق خلال أجسادهم الخاصة. ورغم ذلك لم يكن يتم استخدام هذه الطاقة لابتكار أو المحافظة على المزيد من تعقد الجسم. وبدلًا عن ذلك، كان يتم استخدامها لبناء أنواع كثيرة جدًا من التعقد الخارجي. وإذا نظرنا للأمر من وجهة نظر عامة، يمكن رؤية إنتاج تعقد خارجي باعتباره محاولات كثيرة جدًا لابتكار ظروف جولديلوكس تدعم المحافظة على التعقد الشخصي.

خلال التاريخ البشري، لعل الطاقة المباشرة المستخدمة للمحافظة على التعقد الجسماني قد تراوحت بين 2 و5 وات/ كج. ولعل الاستهلاك المحدود أكثر على أساس بنيوي قد أدى إلى انخفاض، إن لم يكن فناء تعقد الجسم البشري، لأن 2 وات/ كج هي أدنى كمية من الطاقة المطلوبة للمحافظة على تعقدنا الخاص. وقد يكون لمدخل أكبر بكثير من 5 وات/ كج تأثير مماثل، لأنه قد يدمّر أجسامنا بعد زمن معين. والطاقة المستخدمة لبناء، أو المحافظة على، أو تدمير، التعقد تراوحت، على العكس، بين القليلة جدًا خلال التاريخ البشري المبكر إلى الكميات الهائلة التي يتم استهلاكها في الوقت الراهن. ولنقص البيانات الجديرة بالثقة، من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، تقدير كثافات الطاقة للتعقد الذي ابتكره البشر خلال تاريخهم. وحتى المحاولة الأولية لتحديد هذه القيم قد تشكّل برنامج أبحاث كاملًا بدرجة كبيرة عبر المسارات التي استكشفها فون هامبولدت.

خلال التاريخ البشري، لعل كفاءة استخدام الطاقة والموارد الأخرى قد شهدت نزعات معينة. ليس من الضروري أن يؤدّي استخدام كميات كبيرة من الطاقة إلى ابتكار، أو المحافظة على، كمية كبيرة من التعقد. على سبيل المثال، لم تكن محركات البخار، ومحركات الاحتراق الداخلي والمحركات النفّاثة المبكرة ذات كفاءة كبيرة. ورغم ذلك فبمرور الزمن، زادت كفاءتها. ولعل التاريخ البشري في مجمله، مع تقلّبات الظروف، لا يمكن وصفه بأنه عملية زيادة في كفاءة الطاقة. من المرجّح أكثر أن كفاءة استخدام المصادر الطبيعية أصبحت اعتبارًا رئيسيًا بمجرد أن أدركنا أنها نادرة.

الكثير من المتخصصين في أفرع المعرفة يفسّرون الثقافة قياسًا بالجهود الجماعية

عند حل مشاكل الحياة اليومية[8]. وتتضمَّن كل هذه المشاكل الطاقة. ويصيغ عالم الجيولوجيا الأمريكي م. كنج هابيرت M. King Hubbert، الذي حصل على شهرة عالمية لتنبؤه المثير للجدل، وهو صحيح رغم ذلك، في العام 1970 وكان التالي[9]:

> «حيث إن الطاقة مكوِّن أساسي في كل النشاط على وجه الأرض، عضوي أو غير عضوي، ينتج عن ذلك أن تطور الثقافة البشرية لا بد أن يكون أيضًا تاريخًا لزيادة قدرة الإنسان على التحكم في الطاقة والتعامل معها».

لعل هذه المقاربة للتاريخ البشري لم تكن شائعة بين المؤرِّخين وعلماء الاجتماع. بالتأكيد، يعتبر السلوك البشري أكثر تعقدًا وتنوّعًا بكثير عن مجرد الحصول على المادة والطاقة. ورغم ذلك لا يمكن إنكار أنه يشبه كل أنواع الحياة الأخرى، فالبشر عاجزون عن الهروب من نتائج القانون الثاني في الديناميكا الحرارية. لو رغبنا في منع تعقدنا الجسدي بالإضافة إلى كل تعقد ابتكرناه من الانحدار إلى الفوضى، فعلينا أن نحافظ على الحصول على تدفقات المادة والطاقة على أساس منتظم. هذا هو الحد الأدنى للتاريخ البشري. لذلك سوف أجادل بأنه خلال، إن لم يكن كل، التاريخ البشري، كان البحث عمَّا يكفي من المادة والطاقة للبقاء والتكاثر خلال ظروف جولديلوكس معينة هو الموضوع الرئيسي الذي له الأولوية. أيًا كانت الخطط التي فكر البشر في تنفيذها خلال تاريخهم، لو أن هذه الخطط لم تضع في الحسبان نضالهم الذي لا يتوقف ضد الإنتروبيا، لكان من المحكوم عليها أن تفشل[10].

لقد أنتجت كل الأنشطة البشرية بالضرورة نفاية، إنتروبيا بعبارة أخرى. وبينما كان من السهل انبعاث الإشعاع منخفض المستوى والناجم عن النشاط البشري إلى الفضاء، بدأ ميراث الفوضى المادية في التراكم على سطح الأرض خلال مسار التاريخ البشري. ولعل ذلك قد بدأ متواضعًا إلى حد كبير مع، على سبيل المثال، النفاية المتبقية من إنتاج الأدوات من حجر الصوان. ورغم ذلك لا بد أن الأنشطة البشرية المتزايدة قد صاحبت نمو الإنتروبيا المادية في البيئة الطبيعية الناجمة عن النشاط الإنساني.

ظهور البشر الأوائل

اعتمادًا على ما نطلق عليه البشر الأوائل، من المناسب القول إن التاريخ البشري بدأ منذ نحو 4 ملايين سنة. خلال المليوني سنة الأولى، كان على البشر تكييف أنفسهم مع البيئة دائمة التغير لكي يظلوا أحياء، بينما كانت قدراتهم على تهيئة المشهد الطبيعي

لصالحهم محدودة. ورغم ذلك، فمنذ نحو 2 مليون سنة حتى الوقت الحاضر، تعلم البشر بشكل متزايد كيفيّة الحصول على المادة والطاقة بشكل أكثر كفاءة، بالإضافة إلى تهيئة أجزاء أكبر بشكل غير مسبوق من البيئة الطبيعية المحيطة حسب رغبتهم الخاصة. وعندما فعل البشر ذلك، بحثوا غالبًا عن تغيير الظروف السائدة إلى مواقف تشبه ظروف جولديلوكس التي ظهروا فيها في البداية. ولقد سمحت هذه الاستراتيجية العامة لجنسنا البشري بالانتشار حول العالم وفعل كل ما يفعله البشر حاليًا.

ظهر البشر الأوائل في السافانا في شرق أفريقيا. وكان هذا المشهد، ولا يزال، يتصف بالأحرى بطقس معتدل. خلال العام كله، لعل درجات الحرارة كانت تتراوح بين 20 و30 درجة مئوية. ولا يختلف ذلك كثيرًا من متوسط درجة حرارة الجسم البشري، ورغم ذلك كان من الانخفاض بما يكفي للسماح للبشر الأوائل بالتخلص من حرارتهم الزائدة. ونتيجة لذلك، لعل أسلافنا الأوائل لم يكونوا في حاجة إلى حماية من درجات الحرارة العالية أو المنخفضة على هيئة شَعر على الجسد، ولعلهم قد فقدوه نتيجة لذلك. وأيضًا كان ضغط الهواء في سافانا شرق أفريقيا معتدلًا على الأرجح، بمتوسط نحو 900 هكتو باسكال. ونتيجة لذلك، كان هناك ما يكفي من الأكسجين في الهواء لبذل الكثير جدًا من الجهود الجسدية، مثل الجري عبر مسافات طويلة. وصف عالم الجغرافيا البريطاني إ. ج. سيمونز I. G. Simmons مناطق عيش البشر الأوائل كما يلي[11]:

«على مقياس واسع، اشتركوا في كل صفات بيئة السافانا، بالحياة النباتية المفتوحة والمغطاة بالأشجار والفصول الرطبة والجافة على التوالي. وعلى مقاييس محلية أكثر، يبدو أن أغلب المواقع كانت في موضع التداخل بين الحياة النباتية المفتوحة والمغلقة، سيَّان عبر شاطئ بحيرة أو نهر أو غَوْر، ويُضاف إلى ذلك أن المواقع كانت تقع بين فسيفساء معقَّدة من أنواع البيئة، وعزَّز ذلك تنوّع المصادر التي كانت متاحة».

في هذا الموقف، لعل الأناس الأوائل احتاجوا إلى متوسط كثافة طاقة وصل إلى نحو 2 وات/ كج، لأن هذا كان كافيًا للمحافظة على صحة أجسادهم[12].

تبعًا لوجهة النظر العلمية الحديثة، يُعدُّ جنسنا مدينًا بظهوره إلى ظروف كانت صفة ينفرد بها شرق أفريقيا، بينما لم يحدث ذلك في أي مكان آخر، حيث كانت تعيش كمية كبيرة من القِرَدة العليا. خلال ذلك العصر، ولأسباب غامضة حتى الآن، كانت القارة

الإفريقية في طريقها لأن تصبح أكثر جفافًا وأكثر برودة. كانت لهذا التغير المناخي آثار عميقة على الحياة النباتية الإفريقية وعلى الحياة الحيوانية. كانت الغابات الاستوائية تتراجع على الجانبين الشرقي والغربي لأفريقيا الوسطى وكانت تحل محلها السافانا. ونتيجة لذلك، وجدت الأنواع التي تعيش في الغابات نفسها بشكل متزايد تحت ضغط التكيف مع حياة جديدة على مروج تتبعثر فيها الأشجار.

بين الكثير من الأنواع الأكبر، بما في ذلك البشر الأوائل، بالإضافة إلى الظباء وآكلات العشب الأخرى، أدَّى ذلك إلى تطور سيقان أكثر صلابة. وبينما تعتبر السيقان المرنة أفضل للانتقال هنا وهناك في الغابات، فإن السيقان الأصلب تعتبر الأفضل للعيش في المروج، لأنها تتيح للأفراد الجري بسرعة أعلى واجتياز مسافات أطول. خلال ذلك العصر، طوَّر الكثير من الأنواع التي وجدت نفسها في السافانا سيقانًا أصلب وحدثت لها إشعاعات تكيفية. ورغم ذلك حدث فقط بين البشر الأوائل أن أدى ذلك إلى ثنائية القدم bipedalism: طريقة مستقيمة للسير. وخلال الفترة الزمنية اللاحقة في الإشعاع التكيفي، ظهر نطاق كامل من البشر الأوائل[13].

كانت هذه التطورات جزءًا من تغيّر مناخي ذي مدى طويل. منذ نحو 55 مليون سنة خلال العصر الأيوسيني، لعل الطقس والحياة النباتية كانا دافئين عبر الأرض كلها، رغم الاختلافات الهائلة في خط العرض وخط الطول. وبعد ذلك، اقتربت نزعة برودة غير منتظمة طويلة المدى، ما أدى إلى زيادة الجفاف وضآلة الحياة النباتية في أفريقيا. هذا الانحدار المناخي مع الزمن كان جزئيًا نتيجة تكتونية الصفائح. ظلت الصفيحة الإفريقية تتحرك نحو الشمال، حيث قابلت الصحيفة الأوربية الآسيوية. أغلق هذا التصادم الصلة بين المحيط الأطلنطي والمحيط الهندي، وسبّب عملية إعادة تنظيم كبيرة لتدفقات المادة والطاقة عبر كل سطح الأرض. وحدثت تغيرات جغرافية أخرى، مثل التصادم بين شبه القارة الهندية وبقية آسيا، وهو ما أدى إلى تكوين جبال الهيمالايا. ولعل كل هذه التطورات مجتمعة مسئولة عن نزعة التبريد والجفاف طويلة المدى[14].

نتيجة لذلك، تميَّزت ظروف جولديلوكس للحياة على سطح الأرض إلى نظام مناطق مناخية متزايدة التنوع. أصبحت المساحات الدافئة والجافة محصورة بشكل متزايد في المناطق الاستوائية، وصحارٍ غيَّرت موقعها، وظهرت مناطق معتدلة بل حتى مساحات بدأت تظهر وكانت مغطاة بالجليد على مدار العام. أدت هذه الظروف

الجيولوجية الجغرافية المتغيرة إلى زيادة تدفقات المادة والطاقة من المناطق الاستوائية إلى القطبين على هيئة رياح وتيارات مائية. ولقد دعم هذه الأحوال أيضًا، على سبيل المثال، ظهور مروج كبيرة، حيث عاشت أعداد متزايدة من الحيوانات التي تأكل الأعشاب ومفترسيها. وفي النهاية أنتج هذا التغير البيئي طويل المدى في كلٍ من المكان والزمان ظروف جولديلوكس التي ظهر فيها البشر الأوائل.

ولعل تكتونية الصفائح لعبت دورًا إضافيًا في قيادة تطور البشر الأوائل. في العصر الذي أدى خلاله التغير المناخي إلى الانتقال من الغابات إلى السافانا، نتج عن الصفائح التكتونية انقسام شرق-غرب في أفريقيا بسبب انشقاق صفيحتها القارّية إلى جزيئين. وبدأ خط صدع وديان النيل، والصدع Rift ونهر زمبيزي في تشكيل حاجز بيئي، يفصل شرق أفريقيا عن وسطها. وسوف يؤدي هذا التطور في النهاية إلى تفكك قارة أفريقيا. ورغم أن الكثير جدًا من الأنواع استطاعت عبور هذا «الحاجز» وبذلك ظلت جزءًا من مستودع جينات منفرد، لم تستطع كائنات حية أخرى فعل ذلك.

تبعًا لعالم سلوك الحيوانات الهولندي أدريان كورتلاندت Adriaan Kortlandt، منع هذا الحاجز البيئي أشباه الإنسان (أو القردة العليا) على كلا جانبي الحد الفاصل الكبير من التناسل المتبادل، لأنه لم يكن في استطاعتهم السباحة وبذلك عجزوا عن عبور الأنهار التي ظهرت في هذه الأودية. وعندما بدأت الظروف البيئية في التغير على جانبي هذا الحاجز البيئي، حدث الشيء نفسه للتطور البيولوجي، بحيث ظهرت حيوانات الشمبانزي في غابات أفريقيا الوسطى، بينما بدأ في السافانا شرق وادي الصدع ظهور البشر الأوائل، وهم ما يطلق عليهم القردة الجنوبية Australopithecines، «القردة العليا الجنوبية»[15].

ولعل هؤلاء البشر الأوائل قد بدؤوا السير معتدلي القامة، ورغم ذلك لم تكن لديهم أمخاخ أكبر. واحتاج ذلك إلى 2 مليون سنة أخرى. ولعل القردة العليا الجنوبية قد غذوا أنفسهم على ما وجدوه أيًا كان، بينما كانوا يحاولون ألا يكونوا مصدر مادة وطاقة لآكلي اللحم الكبار الذين كانوا يصطادون في السافانا. وبقدر ما نعرف، لم ينتج هؤلاء البشر الأوائل أي تعقد مشيد.

رغم أن الظروف الجغرافية في السافانا الإفريقية كانت معتدلة، فإنها لم تكن مستقرة. لو راقبناها عبر فترة زمنية أطول، لعلها كانت تشهد بشكل متقطِّع اختلافات مناخية

مفاجئة حدثت نتيجة لترتيبات متغيرة في القارات بالاشتراك مع دورات ميلانكوف. ونتيجة لذلك، كانت المساحات حيث عاش البشر الأوائل سافانا خلال بعض الفترات الزمنية، بينما عادت من جديد إلى غابات خلال حقب تاريخية أخرى. وهذا يفسّر سبب أن البشر الأوائل قد تكيفوا فيما يبدو مع كلا نوعي المشهد الطبيعي بتطوير مشية معتدلة بارعة بسيقان ممتدة، لكنها مرنة. وحتى بسيقان ممتدَّة، من الممكن البقاء في الغابات طالما لم تصبح هذه السيقان شديدة الصلابة، أو لو لم تكن الغابات كثيفة جدًا بحيث لا يمكن السير تحت الأشجار. خلال فترات الزمن في الغابات، بدلًا من التأرجح حول أغصان الأشجار مثل أقاربهم من حيوانات الشيمبانزي التي ظهرت، لعل البشر الأوائل عاشوا من ثَمَّ على أرض الغابة[16].

تحسين التناسق الاجتماعي

نتج عن المشي بقامة معتدلة أنواع جديدة من التناسق الاجتماعي. في كتابه «البقاء معًا في الزمن» عام 1995، يرى وليام ماكنيل أنه قبل أن يستطيع البشر الأوائل الكلام بكفاءة مع بعضهم بعضًا، لعل القدرة المنبثقة عن التحرك بشكل متناغم معًا -وهو ما نراه بوضوح في أنواع الرقص وتدريب الجنود على السير المنتظم- كانت مهمة في إيجاد تناسق في السلوك إلى حد تجهله الرئيسيات الأخرى. ولأن التحرك معًا بطريقة متناغمة يعزز بقوة عواطف الشعور بماهية الجماعة، فقد سُمح بنشاط اجتماعي أكثر فعالية على نطاق أوسع ما كان يمكن مشاهدته من قبل، خاصة في الحرب وأيضًا في مجموعة كبيرة من الوظائف الاجتماعية الأخرى. مع ذلك، فالأكثر ترجيحًا، أن حركات التناسق المتناغمة لم ينتج عنها أي دليل آخر بقي رغم تدفق الزمن. وقد يكون من الصعب، من ثَمَّ، تخمين استحقاقات هذه الفرضية، بما في ذلك السؤال عن زمن ظهور هذه القدرة. ورغم ذلك يبقى من المذهل، كما لاحظ ماكنيل، أنه بقدر معرفتنا الآن، يبدو أن البشر هم فقط الذين اكتسبوا هذا السلوك.

لم تكن لدى البشر الأوائل أيّ أسلحة طبيعية، مثل الأسنان الحادة الكبيرة، أو القرون، أو الحوافر القوية أو السم، للدفاع عن أنفسهم ضد المخاطر المتربّصة في السافانا. ولم يكونوا يعملون أيضًا في قطعان. ويتساءل المرء، من ثم، عن كيفية نجاة البشر الأوائل من تهديد أن تأكلهم الحيوانات المفترسة الكبيرة. للإجابة عن هذا السؤال، قام أدريان كورتلاندت باختبار في الوضع الحقيقي لآلة صغيرة تعمل بمحرك كهربائي يمكنها

التأرجح حول بعض الأغصان ذات الأشواك. وتحت هذه الآلة، وضع قطعة من اللحم، جذبت بضعة أسود. بمجرد اقترابها من اللحم، تبدأ الآلة في الدوران بسرعة، ما يجعل من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، الاقتراب من اللحم من دون حدوث إصابات خطيرة بسبب الأفرع ذات الأشواك. وبعد أن حاول أسد عمل ذلك بأية طريقة وأصيب أنفه بجروح، تخلَّت الأسود عن ذلك وتراجعت[17]. من المستحيل، بالطبع، معرفة ما إذا كان البشر الأوائل دافعوا عن أنفسهم بمثل هذه الطرق أم لا. فقط يوضح البحث الذي أجراه كورتلاندت أنه لعل مثل هذه الاستراتيجية كانت فاعلة. لكن أيًّا كان ما فعلوه، فإن دفاعهم عن أنفسهم ضد المفترسين لعله كان أحد الطرق الأولى التي بدأ خلالها أسلافنا في ابتكار ظروف جولديلوكس دعمت بقاءهم. وإذا كانوا قد فعلوا ذلك بينما كانوا يتحركون معًا في تناغم، فإن هذا النوع من السلوك كان أكثر فاعلية أيضًا.

منذ ما بين 2 و4 مليون سنة، انتشر البشر الأوائل عبر كل شرق أفريقيا، يتجوَّلون في مساحات كانت مختلفة بيئيًا. وليس من الواضح مدى قدرة البشر الأوائل على الاتصال ببعضهم بعضًا بمساعدة اللغة الرمزية. ورغم أنه من المحتمل أن كل هؤلاء البشر الأوائل ساروا معتدلي القامة، ظلت أمخاخهم صغيرة نسبيًا. ومن ثم، قد يتساءل المرء حول سبب أنه بعد نحو 2 مليون سنة من التجوال في المشهد الطبيعي في شرق أفريقيا، بدأ بعض البشر الأوائل في تطوير أمخاخ أكبر.

صناعة الأداة ونموّ المخ

لعل نمو الأمخاخ البشرية ارتبط بتزايد استخدام الآلة. ورغم أن البشر ليسوا هم فقط من استخدم الآلة، فإن جنسنا البشري طوَّر هذه المهارة إلى مدى أبعد بكثير من الحيوانات الأخرى. وكان استخدام الآلة نتيجة لتناسق غير مسبوق بين الأعين المجسمة، والأمخاخ والأطراف، وهو ما ظهر أولًا بينما كان أسلافنا البشر لا يزالون نوعًا يسكن في الغابات. وكان المشي بقامة منتصبة مفيد جدًا أيضًا، لأنه سمح باستخدام الأذرع والأيدي في نطاق من الأغراض أوسع بكثير (رغم أنه أصبح من الأصعب التأرجح هنا وهناك على الأشجار). ونتيجة لذلك، تعلم البشر إنجاز المزيد من المهام بشكل غير مسبوق بأيديهم، حتى خلال السير. وفي عصرنا الراهن، على العكس، لا تستطيع القردة العليا فعل ذلك، وعليهم القعود في سكون لتنفيذ هذه المهام. ونتيجة لهذه التطورات، أصبح البشر الأوائل ببطء أكثر قوة بالنسبة للحيوانات الأكبر[18].

بينما كان هؤلاء البشر الأوائل لا يزالون يعتمدون في الغالب على جمع الثمار في ذلك العصر، يبدو أن الصيد اكتسب أهمية. ومن الواضح أن مهارتهم المتزايدة سمحت للبشر الأوائل بالانتقال إلى أعلى هرم الغذاء. وأهمية السير منتصبي القامة بالنسبة لاستخدام الآلة يفسر أيضًا سبب أن أي حيوان آخر لم يشهد تطورًا مماثلًا. لأنه بقدر علمنا، لم يكن هناك أي حيوان ذي مخ بدأ السير منتصب القامة بينما كان يطور أذرعًا وأيديَ رشيقة.

أصبح صنع الآلات ممكنًا بفضل التناسق المتحسّن بين الأعين المجسَّدة، والأمخاخ، والأيدي والسيقان. ولقد سمح هذا التناسق للبشر بإنجاز نتائج غير مسبوقة. بقذف الأشياء والإمساك بها، أحرزوا تأثيرات من على مسافات أبعد إلى حد كبير. وبينما من المحتمل أن البشر بدأوا بقذف العصي والأحجار، فإنه يمكنهم الآن توجيه مركبات الفضاء بدقة عبر المجموعة الشمسية. وسمح تحسين تناسق العين-المخ- الأطراف، للبشر بالتجديف والإبحار بالمراكب، وبركوب الحيوانات أو عربات صغيرة تجرّها الحيوانات، وبعد ذلك بكثير توجيه سيارات تعمل بالطاقة مثل السيارات، والسفن، والطائرات والصواريخ. وبمساعدة هذه المواهب، تعلم البشر أيضًا التعامل مع كميات بالغة الصغر من المادة بدقة متنامية، وأمثلة ذلك حاليًا تقنية النانو ومسارعات الجزيئات الهائلة.

ومع الزمن، ازدادت أيضًا قدرة البشر على تغيير وتشكيل كميات أكبر غير مسبوقة من المادة، والأكثر حداثة وعلى الخصوص في الزراعة، والتعدين والإنشاءات. ويضاف إلى ذلك، أدى التناسق بين العين- والمخ- والأطراف المتطوِّرة إلى أنواع كثيرة جدًا من السلوك المنضبط القائم على بصيرة متنامية وتعلّم جماعي، حيث لعبت الرغبة في إنجاز نتائج متوقَّعة وتجنب نتائج بغيضة دورًا متزايدًا. ولا بد أنه كان من المفيد جدًا تعلم هذه الأعمال البغيضة، مثل الحصول على المادة والطاقة، والذي نتجت عنه بالفعل نتائج مفيدة. كان هذا النوع من السلوك المنضبط شرطًا مسبقًا لإنشاء كل أنواع التعقد الخارجي بالإضافة إلى إنجاز الأمور بواسطته.

أقدم أداة معروفة صنعتها أيدي الإنسان هي الأشياء الحادة المصنوعة من حجر الصَّوَّان، والتي تعود إلى نحو 2,5 مليون سنة. لا يمكننا التأكد، رغم ذلك، من أن هذه الأشياء هي الأدوات الأولى التي صنعها البشر. لقد بقيت الأشياء الصوانية رغم هجوم

الزمن لأنها متينة جدًا. والأدوات الأكثر قابلية للتلف، ربما تكون مصنوعة من الخشب، سيكون من الصعب جدًا العثور عليها، لو أنها لا تزال باقية. ويُضاف إلى ذلك، قد لا نستطيع التعرف على بقايا محتملة للأدوات الأكثر قدمًا، لأنها قد تكون بدائية إلى حد عدم تمييزها في واقع الأمر من المواد التي وُجدت بشكل طبيعي.

ويتم تفسير أدوات الصَوّان القديمة باعتبارها امتدادات للأسنان البشرية، والتي ساندت هؤلاء البشر المبتكرين في الحصول على المادة والطاقة التي كان من الصعب الحصول عليها بطرق أخرى. ولعل هذا يتضمن قطع اللحوم واستخراج النخاع من العظام. ولعل الأطراف الحادة كانت مفيدة أيضًا للدفاع عن تعقد البشر. ولقد تحسَّنت صناعة الأدوات أيضًا بفضل الإمكانات الجديدة التي قدمتها أيدي البشر، بما في ذلك ظهور إبهام يمكن وضعه مقابل الأصابع الأخرى، وهو ما أتاح مهارة أكبر. باختصار، كان ظهور استخدام الآلة يؤذن ببداية طرق أكثر فاعلية للحصول على المادة والطاقة إضافة إلى جهود ابتكار أنواع جديدة من التعقد.

خلال صناعة الآلات، لعل عملية الاستبعاد غير العشوائي قد حفَّزت اكتساب أمخاخ أكبر، وتناسق عين-مخ-يد بالإضافة إلى سعة اللغة والتفكير الرمزي طالما أن ذلك أدى إلى تسهيل البقاء والتكاثر[19]. ولعل التفضيل الجنسي من أجل هذه المهارات قد عزز أيضًا ظهور أمخاخ أكبر وأكثر كفاءة، خاصة لو أن مثل هؤلاء الأفراد كانوا يستطيعون الحصول على -وتوفير- المزيد من المادة والطاقة. ومن ثم، قد لا يكون من المصادفة أنه بعد 500 ألف سنة فقط من صناعة الأدوات الأقدم المعروفة، ظهر نوع جديد من البشر في شرق أفريقيا يطلق عليه الإنسان المنتصِب القامة، بمخ أكبر ومن المحتمل أنه كان أكثر تعقدًا أيضًا.

ولعل التغيرات المناخية قد لعبت أيضًا دورًا مهمًا في تشكيل أمخاخ البشر. منذ نحو 2,5 مليون سنة، أصبحت نزعة التبريد والجفاف أقوى مع تعمق التذبذبات المناخية الناجمة عن دورات ميلانكوف. كان هذا هو بداية زمن العصور الجليدية، والتي ربما قد أثارها اندماج جنوب ووسط أمريكا وهو ما يعرف الآن ببرزخ بنما والظهور المصاحِب له لسلسلة جبال الأنديز. ولعل ذلك قد غير تيارات المحيط بالإضافة إلى أنماط الريح والمطر. وتبعًا لريك بوتس Rick Potts، فإن ظهور صناعة الأدوات ونمو المخ قد تعزز بهذه التأرجحات المناخية المفاجئة. وحسب كلماته[20]:

«تطوَّرت البشرية بطريقة مضطربة عندما أصبحت البيئات أقل قابلية للتنبؤ بها ومتنوّعة من مكان إلى آخر. كان التدهور والتغير في المواطن علامة مميزة قبل وقت طويل من ظهور جنسنا البشري كعامل بيئي مهم. وصنّاع الأدوات أصحاب الساقين الذين استمروا في الحياة كانوا أولئك الذين استطاعوا مكافحة الصعاب مع التقطعات المتناوبة لمواطنهم.

والمبدأ الرئيسي لرد فعلنا التطوُّري هو المرونة، أي القدرة على ضبط وتنويع سلوكنا، والفسيولوجيا الخاصة بنا، والطريقة الشاملة للحياة. وفي مواجهة موطن متنقل، ليست هناك آلية لمكافحة الصعاب أفضل من القدرة على تعديل بيئة الكائن. ومع ذلك، فإن القدرة على التعديل هي في حد ذاتها نتيجة للطبيعة، والبيئات التي عاش فيها أسلافنا البشر، وسرعة التغير في هذه المواقع. وفي النهاية، فإننا –نحن الذين بقوا على قيد الحياة– قد اكتسبنا قدرة ذات وزن كبير على تعديل ما يحيط بنا، ومن ثم محاكاة عمليات تغير البيئة نفسها التي أسهمت في خلقنا».

لعل البشر الأوائل قد تفاعلوا مع هذا التغيّر في الظروف بمحاولة تحسين استخدامهم للآلات لضمان ما يكفي من تدفقات المادة والطاقة. وكما صاغ بوتس الأمر[21]:

«يرى الكثير منا –الذين يثير اهتمامهم أقدم الأدوات المصنوعة من الحجر– أن أشباه البشر الذين عالجوا طعامهم جزئيًا خارج أجسادهم كانوا الأكثر تحررًا من بين كل ثنائيي الأرجل من متطلبات أي نوع واحد من البيئة. وفرص الأسنان الجديدة التي أصبحت ممكنة بالأدوات الحجرية كانت تعني أن صانع الآلة يمكنه تجاوز أي شفرة وضع لأي موطن مفرد أو شريحة زمنية... أعتقد أن صناعة الآلات الحجرية استمرت باعتبارها استراتيجية مفيدة لأنها على وجه الدقة ساعدت أشباه البشر على الانتقال من مصادر مختلفة عندما تكون المصادر القديمة قد انتهت. بكسر وتقطيع الصخور، اكتشف أشباه بشر محدَّدين نوعًا جديدًا من التفنّن. الحجر الثقيل والقشرة ذات الحافة الحادّة يعني أن تشكيلة هائلة من العناصر يمكن فتحها، أو قطعها أو تحطيمها. تم التعامل مع تغيرات في مورد الطعام بصناعة آلات قادرة على معالجة أي نوع من الطعام كان متاحًا.. وقدم تقطيع الرقائق وسيلة مرنة للحصول على الموارد المطلوبة في نطاق كامل من البيئات».

خلاصة القول، عزّزت التذبذبات العميقة في الظروف البيئية البشر الأوائل على

التكيف بالبحث عن تغيير بعض من هذه الظروف لصالحهم بمساعدة الآلات. وأي نجاح في فعل ذلك من المحتمل أنه أدى إلى صناعة أفضل للآلات بالإضافة إلى بشر أذكى من خلال عملية استبعاد غير عشوائي. باكتساب أنواع من السلوك مهذّبة ومتميزة بشكل متزايد نتيجة لنمو المخ، كان في استطاعة هؤلاء البشر المتطورين الحصول على ما يكفي من المادة والطاقة و، خلال الأزمنة العجاف، ابتكار تعقد مشيد أكثر، بينما كانوا يمارسون تأثيرًا متناميًا على البيئة الطبيعية المحيطة بهم.

رغم أنه لم يتم حتى الآن حل غموض التعقد الكامل للمخ البشري، فإن الأساس الفسيولوجي لنموهم والتعقد المتزايد قد يكون بسيطًا تمامًا بالفعل. لقد تم منذ زمن طويل ملاحظة أن حيوانات الشيمبانزي الصغيرة تشبه البشر البالغين من حيث حجم وشكل الرأس بالإضافة إلى درجة قدرة تكيّف سلوكها. وحيوانات الشيمبانزي البالغة لديها، على العكس، رؤوس أصغر نسبيًا بشكل مختلف، بينما تكون أقل قدرة بكثير على التعلم والتكيف. في العام 1918، نتيجة لمثل هذه الملاحظات، اقترح عالم التشريح الهولندي لويس بولك Louis Bolk أنه من المحتمل أنه كانت هناك عملية، أطلق عليها «استبقاء الشكل الجنيني neotony»، وضعت منحة للمحافظة على السمات الشبيهة بالطفل مثل الرؤوس الأكبر –وبالتالي الأمخاخ الأكبر– في سن الرشد. وطالما كانت مميزات القدرة على التكيف، والقدرات الأفضل على التعلم والاتصال الأفضل تتجاوز في أهميتها مميزات واجب إنفاق المزيد من الطاقة والمصادر لتربية الأطفال في بيئة جولديلوكس مناسبة، فقد يكون من المحتمل أن تحدث هذه العملية[22].

يُظَن أن البشر حدثت لهم عملية استبقاء الشكل الجنيني، التي أدت إلى استبقاء صفات الصغار إلى سِنّ لاحقة. وسمح ذلك لجنسنا البشري بتعلم أمور لفترات زمنية طويلة. وكان الثمن الذي يجب دفعه تعرُّضًا متناميًا للمخاطر لدى الأطفال الصغار. بينما يكون لدى الكثير جدًا من الحيوانات حديثة الميلاد، مثل الأحصنة والظباء، القدرة على السير والالتحاق بقطيعهم بعد وقت قصير جدًا من الميلاد. يعجز الأطفال البشر الصغار عن التحرك هنا وهناك لعدة أشهر. ونتيجة لذلك، على البشر بذل الكثير من الجهود لرعاية الأطفال، ولا بد أن ذلك كان عبئًا مهمًا بشكل خاص طالما لم يكونوا يعيشون في مكان واحد لمدة طويلة من الزمن.

وحتى وقت حديث جدًا، كان عرض حوض الأنثى البشرية يضع قيدًا واضحًا على

حجم الرأس الذي كان من الممكن للطفل البشري الصغير أن يصل إليه، ونتيجة لذلك، لعل مدى عملية استبقاء الشكل الجنيني قد استمر. أية زيادة في عرض حوض الأنثى لعلها قد شهدت انتقاءً إيجابيًا، بالطبع، لذلك يمكن توقّع أن هذا الحجم قد ازداد أيضًا. وحتى اليوم، ففي البلدان الغنية، يولد نحو 20 في المائة، إن لم يكن أكثر، من كل الأطفال بمساعدة عملية قيصرية، وهو ما يعني أنه بالنسبة لمثل هؤلاء الأطفال تم استبعاد هذا القيد. تحت تأثير ظروف جولديلوكس المتغيِّرة هذه، يمكن أن نتوقع أن عملية استبقاء الشكل الجنيني قد تسارعت من جديد.

الأمخاخ والأمعاء

صاحب الزيادة في حجم المخ البشري انخفاض في حجم الأمعاء، قضى به انخفاض حجم أوْراك البشر الأوائل بالإضافة إلى حقيقة أن البشر المعاصرين كانت لديهم أمعاء أقصر بكثير من حيوانات الشيمبانزي (التي لديها أوراك عريضة). وفي الوقت نفسه، تعتبر كثافات الطاقة الكلية للبشر والقردة العليا متشابهة جدًا، وهو ما يعني أنهم يستخدمون كميات متماثلة من الطاقة لكل وحدة وزن للجسم، على الرغم من حقيقة أن لدى البشر أمخاخًا أكبر ومسرفة في استهلاك الطاقة. كيف يحدث ذلك؟

اكتشف عالما العلم الطبيعي البريطانيان ليسلي أيلو Leslie Aillo وبيتر ويلر Peter Wheeler إجابة مثيرة للاهتمام[23]. ويجادلان كما يلي: لو أن الأمخاخ الأكبر مرتفعة التكاليف بشكل متزايد من حيث استخدام الطاقة، ما الذي فعله البشر الأوائل للحصول على هذه الطاقة؟ هل أكلوا أكثر من الطعام نفسه للحصول على الطاقة الضرورية، أم أكلوا مواد غذائية مختلفة، ذات نوعية عالية؟ لو أنهم أكلوا المزيد من الأكل نفسه، لكانوا في حاجة بالفعل لأمعاء أكبر أيضًا.

في هذا السياق، من المهم معرفة أن كثافة طاقة نسيج الأمعاء هي أكبر بالفعل أيضًا من نسيج المخ، لأنه يأخذ كمية كبيرة من الطاقة لهضم الطعام. تبعًا لأيلو وويلر، بينما للمخ كثافة قوة 11,2 وات/ كج، للقناة المعوية قيمة أعلى أيضًا 12,2 وات/ كج[24]. ما هي الميزة التطورية للحصول على مخ أكبر، لو أن هذا يضيف فقد المزيد من التكاليف بالنسبة للأمعاء الإضافية التي كانت ضرورية للمحافظة على عمل المخ؟

وبالفعل، رغم ذلك يُحدِث نمو العقل وتقلص الأمعاء معًا. من الواضح، أن زيادة استهلاك المخ للطاقة تم التعويض عنه بنقص الطاقة الضرورية للأمعاء الأصغر. وقد يعني

هذا شيئًا واحدًا فقط: كف البشر الأوائل عن القدرة على أكل كميات كبيرة من الطعام بمحتوى طاقة منخفض نسبيًا، مثل الأعشاب، التي قد تحتاج إلى أمعاء كبيرة ذات تكلفة طاقة عالية. من الواضح أنهم بدأوا يعيشون على أطعمة ذات نوعية أعلى كان هضمها أكثر سهولة، مثل البروتينات الحيوانية، والبذور، والجوز والبندق والثمار اللبّية. وربما كان الحصول على نوعية عالية من الطعام الميزة الرئيسية للحصول على أمخاخ أكبر[25].

حقيقة أن أسلافنا أشباه القردة العليا كانوا عاجزين عن الحياة على وجبات أعشاب على وجه الحصر له دلالة كبيرة. لأنه لو كان آباؤنا وأمهاتنا الأوائل يستطيعون الاجترار، لكانوا قد احتاجوا إلى أمعاء أكبر. وبالتالي، لكان لديهم حتى بطون أكبر، وكانت ستجعل من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، الوصول إلى مشية منتصبة القامة عندما تغيرت الظروف البيئية، لأن بطونهم الثقيلة كانت ستحتاج دعمًا من أربع سيقان. هذا هو، بالفعل، ما حدث لآكلي الأعشاب، مثل الأحصنة والظباء، التي انتقلت بنجاح من أنواع غابات إلى ساكني سافانا في الفترة الزمنية نفسها. بعبارة أخرى، طوّر الجنس البشري الطريقة التي استخدموها جزئيًا على الأقل بفضل نوع الطعام الذي أكله أسلافنا قبل تغيرهم إلى البشر الأوائل.

تبعًا لأيلو ويلر، كانت هناك على الأقل طفرتان في عملية نمو المخ وما صاحبه من تقلص للأمعاء. لعل الطفرة الأولى قد حدثت منذ نحو 2 مليون سنة، عندما سمحت الأدوات الجديدة وتقنيات الجمع والصيد الجديدة للناس باتباع نظام وجبة من الغذاء مرتفع النوعية. وخلال ذلك العصر، أصبحت الأسنان البشرية، وعظام الفك والعضلات التي تتحكم فيها أصغر أيضًا. وأتاح ذلك مؤشّرًا آخر على أن الإنسان المنتصب القامة اعتمد بشكل متزايد على مواد غذائية ذات نوعية عالية كان من الأسهل مضغها وهضمها. كما تمت ملاحظته سابقًا، لعل أدواتهم قد ساعدتهم بأن عملت كأجهزة مضغ وهضم خارجية. وهذا الابتكار جعل البشر أكثر قوة، لكن أيضًا معتمدين بشكل متزايد على مجموعة أدواتهم الجديدة. الطفرة الثانية في تقلص الأمعاء تتطابق مع ظهور تحكّم البشر في النار، عندما حل الطبخ محل جزء كبير من العمل الهضمي الذي تقوم به الأمعاء. ويمكن النظر أيضًا إلى الطبخ باعتباره جعل أجهزة المضغ والهضم خارجية. والتحكم في النار، مثله مثل استخدام الأدوات، جعل البشر يعتمدون إلى حد كبير على هذه المهارة الجديدة المكتسبة.

التحكم في النار

منذ أكثر من قرن، أدرك تشارلز داروين بالفعل أهمية التحكم في النار في تاريخ البشر، حتى رغم أن أحفوريات البشر الأوائل كانت لا تزال مجهولة تمامًا في ذلك الوقت[26]. والآن، يرى العلماء أن الإنسان المنتصب القامة كان أول نوع إنساني يروِّض النار، لكن الزمن الذي فعل فيه ذلك مجهول. يعود أول دليل راسخ إلى نحو 790 ألف سنة في ما هو معروف الآن باسم إسرائيل. ورغم ذلك لعل التحكم في النار قد بدأ بالفعل أقدم من ذلك بكثير، لأن أول آثار لمثل هذه الجهود قد اختفت منذ زمن بعيد من على وجه الأرض. ولعل الدليل الثانوي للتحكم المبكر في النار في أفريقيا يعود إلى ما بين 1 و 1,5 مليون سنة[27].

والتاريخ البشري يشتبك بشكل وثيق مع التحكم في النار. وكما صاغ الأمر العالم الأمريكي ستيفن باين Stephen Pyne، أحد الخبراء الأهم في العالم في تاريخ النار[28]:

> «نحن كائنات نار من عصر جليدي. لقد نضج أسلافنا بسرعة خلال التيارات المناخية المتناوبة التي تناثرت خلال العصر البلستوسيني Pleistocene. لأكثر من مليوني عام، تأرجحت الأرض بين العصر الجليدي وبين دورات جليدية، والعصر المطري و الدورات المطرية، بين البرودة والدفء، والرطوبة والجفاف. غرقت بعض الأماكن في الجليد والماء، وجفَّت أخرى وأصبحت تذروها الرياح. انحسرت الغابات وأرض الأعشاب إلى الأمام وإلى الخلف فوق المشاهد الطبيعية مثل جَزْرٍ ومَدّ هائلين. تلك كانت دورات تدعم النار، بإيقاع أسرع. على مقياس التصاعد الطويل للعصر البلستوسيني دعمت كائن ناري».

يُضاف إلى ذلك، لعل النزعة طويلة المدى للجفاف في أفريقيا قد دعَّمت التحكم في النار. ويسمِّي عالم الطاقة فرانك نيل هذه المرحلة من التاريخ البشري «نظام ثقافة النار»[29].

سمح التحكم في النار للبشر الأوائل بتغيير ظروف كثيرة جدًا لصالحهم[30]. حرق المشهد الطبيعي عزَّز نمو أنواع معينة من النباتات والحيوانات، بينما قلل من فرص البقاء لدى كائنات أخرى. بهذه الطرق، لعل البشر الأوائل قد غيروا مشاهد طبيعية بالكامل. من خلال الطبخ، والشوي والتدخين، حصل البشر على نطاق أوسع غير مسبوق من المواد الغذائية، وبالتالي مصادر جديدة من المادة والطاقة. بينما لم يسمح التحكم في

النار للبشر بأكل سيقان النباتات العشبية، فإنه ساعدهم في هضم بذور أعشاب مثل القمح، والأرز والدخن، بالإضافة إلى أكل أنواع كثيرة من الحبوب. وعندما فعلوا ذلك، حوَّل البشر نوعية منخفضة من مصادر الطعام المتاحة بوفرة إلى مصادر ذات نوعية عالية. وأصبح ذلك مهمًا بشكل خاص في زمن لاحق بعيد، عندما بدأ البشر في ممارسة الزراعة. بعد أن أصبحوا طهاة العصر الحجري انتقل البشر الأوائل إلى قمة هرم الغذاء، بينما جمعوا أيضًا كميات كبيرة من المادة والطاقة من أقسامها الأكثر انخفاضًا في نوعيتها.

بالإضافة إلى التقدم الخاص بالطهو، قدَّم التحكم في النار مميزات أخرى أيضًا. حافظ البشر على أنفسهم دافئين في الليل بالجلوس بالقرب من النيران في الهواء الطلق، بينما جعلوا الحيوانات المفترسة بعيدة عنهم. ويُضاف إلى ذلك، أن الضوء الصادر عن النيران قد غيَّر إيقاعات النوم. لقد قام تدجين النار بتسهيل صيد الطرائد الكبيرة، بالإضافة إلى إزالة الغابات، لإتاحة مرعى لحيوانات الصيد البري. وشهد كل ذلك تسارع عملية رئيسية جديدة بعيدة المدى، بدأ البشر خلالها في تهيئة ظروف جولديلوكس لبيئة الكوكب حسب رغباتهم ومخطَّطاتهم.

بينما أصبحت الطريدة صائدًا، تطوَّر فرق متنامٍ في القوة بين البشر الأوائل والحيوانات المفترسة الأخرى الكبيرة ببطء، ولكن -دون شك- لصالح مستخدمي النار بمهارة وسهولة. خلال ذلك العصر فقط الإنسان المنتصب القامة هو الذي بقيَ، بينما كل البشر الأوائل الآخرين، الذين لم يتحكّموا في النار، اختفوا من على المسرح الأرضي. يرى عالم الاجتماع الهولندي جوهان جودسبلوم Johan Goudsblom أنه من المحتمل أن التحكم في النار سمح للإنسان المنتصب القامة بالانتصار، إمَّا بتمكينه من النجاة من تغير الظروف المناخية، بينما عجز البشر الأوائل الأقل موهبة عن فعل ذلك، أو بالإزالة المباشرة للبشر الأوائل الآخرين[31].

عندما بدأ البشر في استخدام النار، حصلوا على مصدر طاقة خارجية لابتكار وتدمير أنواع من التعقد لأول مرة في التاريخ. ونتيجة لذلك، لا يمكننا استخدام مفهوم كثافة الطاقة بعد الآن، لأن الطاقة المنطلقة من النار لا تتدفَّق خلال أجساد البشر. ويُضاف إلى ذلك، يبدو من الصعب إلى حد كبير، إن لم يكن من المستحيل، تقدير مدى ضخامة كميات المادة التي تدفَّقت هذه الطاقة من خلالها. ولأننا لا نعرف إلى أي مدى أضرم

البشر الأوائل الوهج في السافانا أو الأدغال الجافة، أو مدى اتساع هذه المناطق، من المستحيل أن نقدِّر بأية دقة كمية الطاقة التي انطلقت بكمية معينة من الوقود الحيوي نتيجة لنشاط البشر الأوائل. ورغم ذلك، من المستحيل تقدير كميات الطاقة التي استخدمها الناس. وبالتالي، من الآن فصاعدًا سيتم استخدام مصطلح «استخدام الطاقة لكل فرد» بدلًا عن كثافة الطاقة.

يقدِّر عالم البيئة الهولندي لوكاس ريجندرس أن كمية الطاقة المنطلقة عن طريق الأستراليين الأصليين نتيجة استخدامهم المسرف للنار كان أكبر بمقدار مرة أو اثنتين من الكمية المتوسطة للمواطن الأمريكي في العام 1997[32]. ولعل أسلافهم القدماء كان في استطاعتهم إطلاق كميات طاقة مماثلة. لو كان ذلك صحيحًا، لعل آباءنا وأمهاتنا الأوائل قد تعاملوا مع كميات هائلة من الطاقة. ومع ذلك، ليس من الواضح، مدى كفاءة استخدام هذه النار القديمة. بحرق اليابسة، على سبيل المثال، لعله تم استخدام كمية كبيرة من الطاقة لإيجاد تعقد أكبر إلى حد قليل نسبيًا، بينما في الوقت نفسه قد يكون ذلك دمَّر كميات كبيرة من التعقد. ورغم ذلك قد يعتمد هذا التقدير على وجهة نظر المرء. لعل البشر الأوائل رأوا، في الحقيقة، أن ذلك حل أقل تكلفة وأكثر كفاءة لإيجاد المشاهد الطبيعية المرغوب فيها.

لا بد أن التحكم في النار كان عملية تعلّم. لأن النيران القديمة كانت تهرب من القدرة على التحكم فيها حين تحرير كميات غزيرة من الطاقة، بشكل قصدي أو غير قصدي، ولعل هذه النيران قد دمّرت كمية كبيرة من تعقد البشر الأوائل. ولعل عملية الانتقاء الطبيعي والثقافي كانت تعمل حتى على الاستبعاد غير العشوائي لمستخدمي النار هؤلاء الذين كان اللهب يخرج عن سيطرتهم في الغالبية العظمى من الأوقات. ورغم ذلك كانت النتيجة أن الناس الأوائل تعلموا الحصول على المزيد من الطاقة، وعندما فعلوا ذلك لعلهم خلقوا المزيد من التعقد. ويُضاف إلى ذلك، كما قال ستيفن باين، أن الاستخدام المتنامي للنار من قِبَل البشر قد أدى إلى انخفاض في المواد القابلة للاشتعال بسهولة، وهو ما أدى إلى نيران أصغر[33].

في العام 2007، خلال إحدى حالات التبادل الأكاديمي الممتازة لدينا، طرح دافيد كريستيان سؤالًا حول سبب أن أكبر تعقد معروف (المجتمعات البشرية) ظهر على اليابسة وليس في المحيطات. كما أرى الأمر، بالدرجة الأولى، يمكن للأذرع والأيدي

البشرية، التي تعتبر ضرورية لإنجاز كل هذه المهارات، أن تتطوَّر بسهولة من المخلب أكثر بكثير من تطورها من الزعانف. ثانيًا، قد يكون من الأصعب بكثير العثور على المواد المناسبة لصناعة الأدوات في المحيطات منها على اليابسة. وأخيرًا وليس ذلك أقل قيمة بكل تأكيد، فإن التحكم في النار، الذي كان جوهريًا لكل ابتكارات الطاقة الرئيسية التالية (وخاصة الزراعة والصناعة)، لن يكون ممكنًا تحت الماء.

نتيجة لذلك، رغم أن قلة قليلة جدًا من الحيوانات الذكية تعيش في البحار السبعة، لم تكن أحوال المحيط بحالة جولديلوكس للوصول إلى مستويات من التعقد تتماثل مع، أو تتخطى، المستويات التي توصل إليها البشر. في الحقيقة، أتى معظم الكائنات البحرية الذكية، مثل الدلفين والحوت، من حيوانات يابسة ويمكنها التنافس بنجاح في الأحوال المائية بفضل الذكاء الذي حصلت عليه خلال مكوثها القديم على اليابسة. وبينما تكيَّفت بشكل مثير للإعجاب مع أحوال المحيط، كانت محدودة أيضًا بهذه الظروف. وبالتالي، لم تستطع ابتكار مستويات تعقد مشيد مماثلة لتلك التي ابتكرها البشر المحاطون بالأرض من جميع الجهات.

الهجرة

بقدر معرفتنا، كان الإنسان المنتصب القامة هو أول جنس بشري ترك أفريقيا وهاجر عبر أجزاء كبيرة من القارة الأوراسية[34]. من الواضح أن هؤلاء المغامرين من البشر الأوائل كان في استطاعتهم التكيف مع الكثير جدًا من المناطق المناخية المختلفة بدرجات حرارة تتراوح بين 40- درجة مئوية و+ 50 درجة مئوية، بينما كانوا يحصلون على مادة وطاقة كافيين للبقاء والتكاثر على نحو ناجح لما يقرب من 1,5 مليون سنة. كانت هذه الهجرة إلى مناطق تتصف بتشكيلة متزايدة من الظروف البيئية ممكنة بفضل المستوى المتزايد من التكيف الثقافي الذي كان في استطاعة الإنسان المنتصب القامة الوصول إليه. كانت تلك هي المرة الأولى التي يستطيع خلالها أي حيوان استعمار جزء كبير من وجه الأرض بمساعدة التعلم الجماعي. الفرق الرئيسي بين تطور بيولوجي يؤدي إلى إشعاع تكيفي وابتكار ثقافي يؤدي إلى إشعاع تكيفي ثقافي أن الابتكارات الثقافية يمكن استنساخها بسهولة بواسطة الآخرين من دون أية حاجة لعملية تبادل وراثي، الذي يعمل ببطء أكثر لدى الأنواع المعقدة[35].

وحيث إن هناك افتقارًا للدليل الواضح (الذي قد يكون من الصعب العثور عليه)،

فإننا لا نعرف ما إذا كان هؤلاء الرحّالة العالميون الأوائل كانت لديهم أنواع من طرق التحكم في النار. والمرجَّح أكثر، أن الأمر كان كذلك، لأنه سمح لهم بمنفذ إلى المادة والطاقة بالإضافة إلى تحسين القدرة على تغيير ظروف سائدة لصالحهم. ولا نعرف أيضًا بالتأكيد ما إذا كان هؤلاء المهاجرون قد صنعوا الملابس. هناك دليل غير مباشر يشير إلى أنه منذ 1,18 مليون سنة، لعل الناس بدأوا في ارتداء الملابس. ويعتمد ذلك على فكرة أن أول ملابس قد أتاحت ظروف جولديلوكس ليس فقط للبشر ولكن أيضًا لبعض طفيلياتهم، وعلى الأخص القمل. وتبعًا لدراسات وراثية حديثة، لعل أقدم قمل جسم إنسان تطور منذ نحو 1,18 مليون سنة[36]. ويتطابق ذلك بدقة مع هجرة الإنسان المنتصب القامة إلى أجزاء أكثر برودة في القارة الأوراسية، وهو ما عزَّز حاجة أكبر لألبسة حامية.

بتغطية أنفسهم بجلد اصطناعي، لعل البشر الأوائل قد جعلوا الأمر أكثر صعوبة في التخلص من الوسخ الملتصق بأجسادهم. ونتيجة لذلك، لعلهم شعروا بحاجة أكبر لتنظيف أنفسهم وثيابهم. خلال التاريخ البشري، ليس من الواضح تمامًا نوع معايير النظافة التي كانت موجودة، وكيف كانت تحدث عمليات التنظيف بالفعل ومدى كفاءتها. ورغم ذلك، ظهرت، ببطء ولكن بكل تأكيد، معايير معينة للتنظيم، كانت تختلف بشدة عادة في المجتمعات وبينها، وأدت في النهاية إلى تصنيفات اجتماعية كاملة، بما في ذلك نظام الطائفة الهندي، والذي يقوم على مفهوم النظافة[37]. ويمكن تفسير نظام التصنيف هذا، بالفعل، باعتباره ظروف جولديلوكس ثقافية دينية ملهمة أتت من ظروف جولديلوكس أقدم، وتم ابتكارها اصطناعيًا أيضًا.

ولقد أشار كل من العالم الأمريكي جيمس تريفيل James Trefil وعالم الفلك البريطاني جون بارو John Barrow إلى أن البشر المحدثين كانوا يحاولون إعادة بناء ظروف جولديلوكس شمال أفريقيا في الكثير من الأماكن، كما هو موضح في الشكل (6-1). بينما كانت خطته النزول بالقرب من ألبوكرك، في نيومكسيكو، اندهش تريفيل عند رؤيته حقل عشب في وسط الصحراء. من الواضح أن البشر كانوا يحاولون إعادة بناء نظام بيئي حيث كان أسلافهم قد تطوَّروا في منطقة مختلفة جدًا بتكاليف عالية[38]. لاحظ بارو أن مثل هذه المشاهد الطبيعية تتباهى عادة بأشجار مفردة أو مجموعات صغيرة من الأشجار، وهو ما يعكس أحيانًا مشهد سافانا. لتقدير هذه الملاحظة، علينا

النظر إلى أبعد من فنائنا الخلفي، لو كنا سعداء الحظ بما يكفي لامتلاكها. والأرجح أكثر، فإننا لن نعرف أبدًا ما إذا كان الإنسان منتصب القامة قد شارك في مثل هذه الجهود. ورغم ذلك يبدو من المرجح أن أية محاولات على مقياس كبير في حرق المشاهد الطبيعية، خاصة مناطق الغابات، قد نتج عنها مثل هذه الظواهر[39].



الشكل (6-1): جهد بشري لإعادة بناء سافانا إفريقية في مكان آخر على الكوكب. أمستردام، ويستبارك، شتاء 1995 - 96. (صورة فوتوغرافية التقطها المؤلف).

كانت الهجرة خارج أفريقيا تعني أيضًا الانتقال أسفل معدَّل المرض[40]. في أفريقيا الاستوائية، حيث يغذي إشعاعُ الشمس نظامًا بيئيًا متنوعًا إلى أقصى حد، يوجد الكثير جدًا من الأمراض المعدية، التي يعتمد بعضها في معيشته على نوعين على الأقل من المضيفين، البشر والحيوانات الكبيرة الأخرى من جانب، والكائنات الحية مثل الحشرات، أو القمل أو البزاقات التي تنقلها إلى الطرائد الكبيرة دون أن تصاب هي نفسها بالمرض، من جانب آخر. ولقد سمح ذلك بأن تظل هذه الكائنات المجهرية المسببة للمرض شديدة العدوى وخطيرة جدًا على البشر. لعل هذا الموقف قد وضع قيدًا على التعداد البشري في أفريقيا حتى وقت حديث جدًا، وكانت النتيجة أن النباتات والحيوانات الأخرى تمتعت بظروف جولديلوكس أفضل. وعندما انتقل الإنسان

المنتصب القامة إلى مناطق مناخية أكثر برودة فيها نظم بيئية أقل تنوّعًا، لم يتبعه الكثير من هذه الأمراض المعدية، لأن المضيفين الآخرين الذين كانت تعتمد عليهم، كانت عاجزة عن مصاحبتهم. ونتيجة لذلك، لعل الهجرات البشرية المبكرة قد تركت خلفها هذه الأمراض الاستوائية وكان الكثير من البشر أكثر تمتعًا بصحة سليمة نتيجة لذلك.

يرى عالما الآثار بريان فاجان Brian Fagan وأندرو شيرات Andrew Sherratt إنه من المحتمل أنه كانت هناك آلية بيئية على مقياس كبير نشيطة دفعت الناس إلى خارج شمال أفريقيا إلى القارة الأوربية الآسيوية. ويطلقان على آلية ظروف جولديلوكس المتغيرة هذه «مضخة الصحارى»[41]. خلال عصور هطول المطر الشديد ونمو الحياة النباتية في الصحارى، والتي نتجت عنها حياة نباتية وحيوانية غزيرة، كان الناس قد سُحبوا إلى الصحاري بحثًا عن المادة والطاقة، فقط لكي يتم طردهم من جديد عندما عادت أزمنة الجفاف. تبعًا لشيرات، «كان ذلك محركًا رئيسيًا في توزيع السكان، دافعًا أشباه البشر عبر معبر يابسة ليفانت Levant للبحث عن حظهم في القارة الأوربية الآسيوية»[42].

بينما انتشر الإنسان المنتصب القامة في الكثير من الأماكن في القارة الأوربية الآسيوية، كان التغير الثقافي لا يزال بطيئًا جدًا بالمقاييس المعاصرة. ومن الواضح أنه لم تكن هناك بعد آلية ارتجاع إيجابي قوية يمكنها إنتاج تغير ثقافي أسرع. وليس من الواضح ما كانت عليه عوامل التقييد. ربما كانت أمخاخهم وقدراتهم على الاتصال لا تزال ضئيلة جدًا، بينما عاشوا في زمر صغيرة كانت بالأحرى معزولة عن بعضها بعضًا. منذ نحو 500 ألف سنة، يبدو أن التغير الثقافي قد تسارع قليلًا، وهو ما يشير إلى ارتجاع إيجابي أكبر. ولعل السبب في ذلك كان تحسن الأمخاخ ووسائل الاتصال (اللغات المنبثقة) أو التعداد السكاني الأكثر كثافة. بمصطلحات التعقد، الذي يتضمن المزيد من لبنات البناء بالإضافة إلى المزيد من الارتباطات، والمزيد من التنوع، بين وخلال لبنات البناء.

ويبدو أن الإنسان المنتصب القامة كان نوعًا يعيش على بَرٍّ يحيطه من جميع الجهات. ولأن هؤلاء البشر الأوائل كان من الواضح أنهم لا يعومون مسافات طويلة ولا يبحرون في البحر، فقد احتلّوا فقط هذه المناطق في القارة الأوربية الآسيوية التي يمكن الوصول إليها سيرًا على الأقدام، بما في ذلك الجزر التي أصبحت متصلة بالقارة خلال العصور الجليدية، عندما كان مستوى البحر قد انخفض ما يكفي لتظهر جسور اليابسة.

نهضة البشر المعاصرين

يبدو أنه منذ نحو 200 ألف سنة، ظهر البشر المعاصرون، المعروفون باسم الإنسان المعاصر Homo sapiens، ومن المحتمل أنهم ظهروا مرة أخرى في أفريقيا[43]. وليس من المعروف حتى اليوم سبب ذلك. وبفضل التغيرات الوراثية التي لا تزال هناك حاجة إلى تفسيرها، كان لدى هؤلاء البشر المعاصرين لغة ومهارات اتصال أعلى، بينما كانوا أيضًا موهوبين تقنيًا وفنيًا. وتبعًا لجون دو فوس، كان التطور الرئيسي الجديد هو القبضة المحكمة مع الإبهام الذي يمكن تحريكه في الاتجاه العكسي، وهو ما سمح للبشر بالأفضلية التقنية منقطعة النظير[44]. أيًا كانت أهمية الجوانب المختلفة، فإن هذه التطورات جعلت قدرة البشر المعاصرين أكثر قوة بكثير. بمرور الزمن، سمح ذلك لجنسنا بالحصول والتعامل مع تدفّقات مادة وطاقة هائلة بالإضافة إلى إنشاء نطاق لا ينتهي تقريبًا من ظروف جولديلوكس. والتماثل اللافت للنظر بين جينوم جنسنا وأقرب الأقارب لنا، وهي حيوانات الشمبانزي، جعل العلماء يظنون أنه من المحتمل أن ظهور البشر المعاصرين كانت وراءه تغيرات وراثية أصغر نسبيًا نتج عنها تأثيرات ضخمة.

منذ نحو 100 ألف سنة، بدأ أعضاء البشر المعاصرين الهجرة إلى خارج أفريقيا. في جسر اليابسة بين أفريقيا والقارة الأوربية الآسيوية، تم العثور على بقايا البشر المعاصرين في سكهال Skhul وكافزي Qafzeh، في ما يعرف الآن بإسرائيل، وهي تعود إلى ذلك العصر. في ذلك الوقت، لعل القدرة على التكلم بلغة رمزية مستفيضة قد بدأت في الظهور، ولعل ذلك قام بتسهيل اتصالات أكثر كفاءة بكثير. يرى عالم الوراثة الإيطالي لويجي لوكا كافالي-سفورزا Luigi Luca Cavalli-Sforza أن ذلك كان عاملًا رئيسيًا في دعم أول هجرة إلى خارج أفريقيا[45]. ورغم ذلك، ربما كانت هذه الموجة الأولى من هجرة البشر إلى قارة أوراسيا قصيرة العمر.

ويبدو أن الموجة الثانية من الهجرة إلى خارج أفريقيا قد بدأت منذ بين 80 و60 ألف سنة[46]. ويتطابق هذا العصر مع النزعة العامة لجفاف وبرودة سطح الأرض نتيجة لآخر عصر جليدي. ولقد قادت الدراسات الوراثية إلى فرضية أنه خلال ذلك العصر، سار تعداد البشر المعاصرين الأوائل خلال «عنق زجاجة تطوري»، حيث انخفضت أعدادهم إلى مجرد 10 آلاف فرد. ولعل هذا «التدمير السكاني» كان نتيجة ثوران «هائل» لبركان توبا في جزيرة سومطرة[47]. لو كان هذا صحيحًا، فقد يمثّل ذلك مثالًا آخر لتغير

الظروف البيئية التي أثرت بعمق في التاريخ البشري. وذلك يجعل المرء يتساءل حول ما إذا كان ثوران توبا والتبريد العام للمناخ قد أزالا معًا هؤلاء البشر الأوائل الذين عجزوا عن البقاء في مواجهة هذه الظروف البائسة، لأنهم كانوا عاجزين مثلًا عن الهجرة بنجاح في ظروف متنوعة، أو البقاء في ظروف أخرى، نتيجة لمهاراتهم الثقافة المحدودة أكثر.

كانت هجرة البشر المعاصرين في أنحاء العالم إنجازًا غير مسبوق، لو فكَّرنا في البشر كحيوانات، جزئيًا بسبب نطاق البيئات التي تعلَّم البشر الحياة فيها، وجزئيًا بسبب السرعة التي حدثت بها هذه العملية. وعندما فعلوا ذلك، بدأ البشر في الحصول على مادة وطاقة في كل العالم القابل للسكنى تقريبًا، بما في ذلك الجبال العالية، حيث لم يكن ضغط الهواء أعلى من 600 هكتوباسكال. وضغط الهواء المنخفض نسبيًا هذا جعل من الأكثر صعوبة بكثير أداء الوظائف اليومية نتيجة لضغط الأكسجين الأكثر انخفاضًا، بينما احتاج طهو المواد الغذائية إلى ضِعف الزمن المعتاد بسبب انخفاض درجة حرارة غليان الماء.

بعكس الإنسان المنتصب القامة، كان في استطاعة البشر المعاصرين الإبحار في البحار. ومنذ نحو 50 ألف سنة، وصلوا إلى أستراليا، بينما قد يكون البحارة الشجعان من آسيا هم أول مستعمرين للأمريكتين. لعلهم أنجزوا ذلك إما بعبور بيرنج ستريت Bering Strait أو عن طريق القفز على الجزر، بتتبُّع سلسلة الجزر التي تمتد عبر كل الطريق من آسيا إلى الشاطئ الغربي للباسفيكي الأمريكي. وفي ما بعد، لعل أول مستكشفي العالم الجديد قد تتبَّعوا الساحل على طول الطريق الهابط إلى ما يعرف الآن بتشيلي الجنوبية. ويفسِّر هذا السيناريو، على سبيل المثال، سبب أن بعض الأدلة الأقدم على استيطان البشر في الأمريكتين تم العثور عليه في تشيلي الجنوبية. ولأسباب واضحة، لعل الأمر كان أكثر سهولة بكثير في الإبحار عبر خط ساحل الباسفيك الأمريكي مقارنة بالسير من ألاسكا عبر كل الطريق إلى أسفل حتى المخروط الجنوبي لأمريكا الجنوبية. من الواضح، أن البشر في ذلك الوقت كان في استطاعتهم الحصول على الماء وطاقة الريح لنقل أنفسهم[48]. ولأن مستوى البحر ارتفع نحو 120 مترًا بعد نهاية العصر الجليدي الأخير، فإن أغلب الأدلة على حالات استيطان ممكنة مبكرة للبشر عبر ساحل الباسفيك الأمريكي ستكون تحت الماء حاليًا. ويُضاف إلى ذلك، أن بعض الناس من أوربا وأفريقيا قد يكونون وصلوا إلى الأمريكتين خلال هذا العصر بعبور المحيط الأطلنطي.

خلال توسعهم في العالم الأوسع، لا بد أن بعض البشر المعاصرين الشجعان قد قابلوا بشرًا أوائل كانوا قد استقروا وتطوروا منذ زمن بعيد. وأفضل المعروفين من هؤلاء البشر الأقدم هم البشر النياندرتاليون Neanderthals، الذين عاشوا في منطقة تمتد من غرب أوربا إلى إيران الحديثة، تقريبًا المنطقة نفسها بالضبط التي استوطن فيها لاحقًا ما يطلق عليه البشر البيض القوقاز. ولعل النياندرتاليون قد أتوا من جنس بشري أقدم يُطلق عليه إنسان هايدلبرج Homo heidelbergensis،والذي كان أكثر تطورًا من الإنسان المنتصب القامة. كان النياندرتاليون حاذقين بشكل لافت للنظر وتم اعتبارهم من ثم منتمين إلى نوع معروف ب «الإنسان المعاصر البدائي». والفترة الزمنية التي التقى خلالها الإنسان المعاصر بالنياندرتاليين في قارة أوراسيا، منذ ما بين 40 و30 ألف سنة، كان لا يزال جزءًا من العصر الجليدي الأخير. وكان النياندرتاليون متكيفين جيّدًا مع ظروف جولديلوكس القاسية هذه بالأحرى. ولا يزال هناك سؤال حول إلى أي حد كانت لدى الإنسان المعاصر صفات بيولوجية أعلى بالإضافة إلى مهارات ثقافية أكثر من النياندرتاليين.

عند نحو 30 ألف سنة، حدث انقراض للنياندرتاليين وبقي الإنسان المعاصر حيًا فقط. والرأي الأكاديمي السائد حاليًا هو أن الإنسان المعاصر حل محل النياندرتاليين بفضل مهاراته الأعلى في العملية التي نسميها الآن «الإبادة الجماعية». ورغم ذلك يُعتبر من المحتمل أن بعض البشر المعاصريين قد تزاوَجوا مع النياندرتاليين. لو أن ذلك قد حدث بالفعل، قد يعني هذا أن بعض الجينات النياندرتالية الخاصة لا تزال باقية في المواطنين المعاصرين. حقيقة أن المواطنين النياندرتاليين وبعد ذلك القوقاز شهدوا تداخلًا بشكل لافت للنظر قد يشير إلى مثل هذه الأحداث. ويتساءل المرء أيضًا حول لقاءات ممكنة في مكان آخر في قارة أوربا وآسيا بين الإنسان المعاصر والبشر الأقدم. ولنقص الأبحاث الكافية، لا يمكن الإجابة عن هذه الأسئلة بشكل مرضٍ حتى الآن. ورغم ذلك، فمهما يكن ما حدث خلال ذلك العصر، فإن البشر المعاصرين فقط هم الذين ظلوا في أغلب الأماكن ابتداءً منذ نحو 30 ألف سنة، بينما كل البشر الأقدم تقريبًا قد اختفوا من على المسرح الكوكبي[49].

ولعل هجرة البشر المعاصرين إلى مناطق غير مأهولة مثل أستراليا والأمريكتين قد شهد بعض السمات العامة. لعل المهاجرين الأوائل كان لديهم وقت مريح نسبيًا، طالما

كانت هناك مادة وطاقة وظروف جولديلوكس كافية. ورغم ذلك فبمجرد أن تصبح منطقة مستقرة، يصبح المزيد من الهجرة إلى هذه المنطقة أكثر صعوبة، لأن السكان المستقرين ربما لا يرحبون دائمًا بوافدين جدد. ونتيجة لذلك، لا بد أن المهاجرين المتأخرين قد واجهوا وقتًا صعبًا، إلا لو كانت لديهم مهارات أعلى ساعدتهم على عبور هذه الحدود التي وضعها البشر. وقد توضِّح هذه الفكرة سبب أن الهجرة تحدث عادة في موجات وليس على شكل تيار مستمر. ورغم ذلك لعل مثل هذه الحواجز لم تمنع تبادل الناس، والسلع والأفكار عبر مسافات أقصر في طريق التجارة والزواج من الأباعد. وعبر فترات زمنية أطول، لعل هذه التعاملات أنتجت انتقال بغض من هذه الجوانب عبر مسافات أطول.

من غير الواضح متى تطوَّرت قدرة اللغة الرمزية الحديثة. فبينما يرى أغلب علماء الأنثروبولوجيا أن ذلك ربما ظهر منذ نحو 40 ألف سنة بين بشر معاصرين تشريحيًا، لا يمكن استبعاد أن ذلك قد حدث في وقت أقدم بكثير. بالفعل لعل النياندرتاليين كان في استطاعتهم أيضًا التكلم بطرق يمكن التعرف عليها باعتبارها لغة اليوم. أيًا كان ما حدث، فإن قدرة البشر المعاصرين على اكتساب لغة وعلى التكفير الرمزي وفَّر قدرة غير مسبوقة على التخطيط، والتناسق الاجتماعي وعلى العمل، وهو ما لم يتم الوصول إلى حدوده حتى الآن. ولقد سمح أيضًا باستبقاء ذكريات الأحداث الماضية إلى حد أكبر بكثير. بعبارة أخرى، أدَّت الأمخاخ الأفضل واللغة الرمزية المتطورة إلى المزيد من البصيرة وإدراك الأحداث قبل وقوعها. بمرور الزمن، تطورت اللغة الرمزية إلى أنواع من الكتابة، أولًا على الصخور أو على ألواح الصلصال، وبعد ذلك على صفائح مصنوعة من الورق أو جلود الحيوان وبعد ذلك بكثير من الطباعة ومخزون البيانات الإلكترونية والاتصالات. كانت كل مرحلة أكثر كفاءة من حيث عدد الناس الذين يمكن الوصول إليهم، وكانت أرخص أيضًا من التحرُّك معًا بإيقاع متناغم. مع ذلك، لم تحل اللغة حتى الآن بعد مَحَلّ الرقص والتدريب العسكري بشكل كامل. ومن الواضح أنه لا يزال هناك مواقف يكون فيها السير معًا بإيقاع متناغم له مميزات معينة.

منذ ما بين 10 و30 ألف سنة، كانت كثافة السكان البشرية لا تزال منخفضة في أغلب اكن. وتبعًا لعالم الجغرافيا البريطاني إ. ج. سيمونز، تغير التعداد السكاني البشري ىن شخص لكل 26 كم^2 في المناطق الخصبة إلى شخص لكل 250 كم^2 في المناطق

الجافة مثل قلب قارة أستراليا[50]. ولأن البشر المعاصرين كان عليهم تتبع تدفقات المادة والطاقة، لعل أغلبهم عاش معيشة مترحّلة. وفقط في مناطق المصادر الغنية جدًا، مثال سواحل البحار القريبة من تيارات المحيط، والتي امتلأت بالمصادر البحرية، كان في استطاعة الناس الاستقرار بشكل دائم. ولعل أغلب هذه الأماكن قد غمرها الماء نتيجة ارتفاع مستوى البحر الذي حدث بعد نهاية العصر الجليدي الأخير.

يبدو أن التنظيم الاجتماعي لهؤلاء الجامعين الصيادين الرحالة كان بسيطًا. في الحياة اليومية، ربما كانوا يعملون كجزء من الجماعات العائلية، التي كان تعدادها يتراوح في الغالب بين 25 و50 شخصًا. ولعل مثل هذه الزمر كانت جزءًا من جماعات أكبر، التي ربما تألفت من 500 شخص تقريبًا. في مثل هذا النظام الاجتماعي لعل أنواعًا عديدة من التبادل قد حدثت في وقت معين. وبناءً على الموقف، لعله كانت هناك محاولات للمحافظة على كثافة التعداد السكاني منخفضة. وتبعًا لسيمونز: شهد التعداد المتناسل من نحو 175 شخصًا، كما يرى الكثير من المفسّرين، تحكمًا قويًا في التعداد، فقد قُتل نحو 15-20 في المائة من الأطفال الذين ولدوا أحياءً»[51]. بعبارة أخرى، بحث هؤلاء الناس عن التحكم المباشر في تكاثر تعقدهم حتى لا يتخطون حدود ظروف جولديلوكس السائدة.

لعل ظهور البشر المعاصرين قد أدى إلى بعض الانخفاض في التعقد البيئي المحيط. أولًا، لا بد أن حرق السافانا والغابات قد غير تركيبهم البيولوجي، وبذلك أدى إلى انخفاض أعداد الأنواع الأقل حظًا، بينما في الوقت نفسه استفادت أنواع أخرى. ولأنه، بمرور الفصول، كانت نيران البشر قد اندلعت غالبًا في أوقات منتظمة تقريبًا، بعكس الاحتراق التلقائي، نتج عن ذلك مشهد طبيعي كان يتصف بنظام احتراق أكثر انتظامًا ومنخفض الكثافة. وكان لذلك تأثير معاكس على الأنواع التي احتاجت احتراقًا جيدًا لكي تتناسل، بينما كافأ ذلك الأنواع التي تكيّفت جيدًا مع هذه الظروف الأكثر انتظامًا[52].

لعل البشر المعاصرين قد أبادوا بعض الحيوانات الضخمة، خاصة تلك التي كانت تعيش في مناطق لم ترَ البشر أبدًا من قبل، وبشكل خاص في أستراليا والأمريكتين[53]. ورغم ذلك ليس من الواضح جدًا ما إذا كان تغير المناخ أو الأمراض كانت أيضًا من بين الأسباب الجذرية لمثل هذا الانقراض. أيًا كان الأمر، يظل من المذهل أنه بعد بضعة

آلاف من السنوات من انتقال البشر إلى تلك الأقاليم، أن أغلب الحيوانات الكبيرة قد اختفت. لو كان هذا صحيحاً، قد يقدِّم مثالًا لانحدار التعقد البيئي نتيجة لنشاط البشر.

من وقت إلى آخر، لعل التغيرات المفاجئة في الظروف البيئية، بما في ذلك حالات القحط، والزوابع، والزلازل، وثوران البراكين والتصادمات السماوية، قد نتج عنها انخفاض في التعقد البشري على مقاييس تتراوح بين المحلّي والقارّي[54]. ولعل الكارثة الأكثر حداثة على المقياس الكبير قد حدثت في أمريكا الشمالية. في عام 2007، اقترح فريق من الباحثين الأمريكيين أنه منذ نحو 12900 سنة، انفجر مذنّب فوق أمريكا الشمالية إلى عدد من النيازك العملاقة، وبذلك قضى على ما كان يطلق عليه ثقافة الكلوفيس Clovis، بينما استقرت الأنقاض على بعد يصل إلى أوربا. وتبعًا لعالم المحيطات جيمس كينيت James Kennett، أحرقت حرائق هائلة واسعة الانتشار أمريكا الشمالية عقب ذلك، وقتلت مجموعات كبيرة من البشر والحيوانات. «كانت القارة في مجملها تشتعل»، كما قال. ومع ذلك، وتبعًا لباحثين آخرين، برد المناخ خلال هذه الفترة الزمنية، وأنتج بذلك كميات كبيرة من المواد الفانية القابلة للاشتعال، والتي تولّدت عنها الحرائق الهائلة واسعة الانتشار. ولم تكن في حاجة إلى انفجار مذنّب[55].

الدِّين المبكر

لا نعرف أي شيء حول الطرق الأقدم التي فسَّر بها البشر العالم من حولهم وموقعهم فيه. خذ الفنون، بالإضافة إلى التعبيرات الفنية الأخرى، مثل تماثيل «فينوس» الشهيرة، التي تقدم بضع لمحات عمَّا لعله كان تصورات دين قديم، ورغم ذلك من الصعب تفسيرها بشكل عام. والأمر كما صاغه عالم الآثار الأمريكي الشكوكي روبرت وينك[56] Robert Wenke:

> «كان الفن في العصر الحجري القديم غالبًا يماثل «اختبار رورشاخ Rorschach»، بمعنى أن الراصدين المعاصرين حاولوا أن يقرأوا من خلاله عقل وروح البشر البدائيين، لكنهم ربما عرفوا عن نفوسهم الخاصة أكثر مما عرفوه عن البدائيين».

قد تقدِّم دراسات علماء الأنثروبولوجيا عن مجتمعات الجامعين الصيادين الحديثة نماذج مقبولة حول كيف كان أسلافنا يشعرون ويفكرون في هذه الأمور. وبناء على مثل هذه التقارير، يشك المرء في أن الجامعين والصيادين القدماء قد رأوا أن العالم المحيط تتخلله أرواح كثيرة جدًا، يفضلون البقاء على علاقة صداقة متبادلة معها. في مثل هذه

المجتمعات، لعل اختصاصيين في الدين كانوا يعملون غير متفرغين، ومن المحتمل أنهم كانوا أسلاف «الشامانيين» المعاصرين. مثل هؤلاء الأشخاص الذين يكونون في الغالب موهوبين جدًا اجتماعيًا ونفسيًا، يعتبرون خبراء في التعامل مع الشكوك في الحياة اليومية التي لا يمكن حلها بالوسائل العادية بالنسبة للمعتقدات والممارسات الدينية.

في مجتمعات الجامعين الصيادين، قد تتضمَّن هذه الشكوك الأمراض والموت الحتمي، ونقص ما يكفي من الطعام والملابس بالإضافة إلى المخاطر التي تمثلها الحيوانات المفترسة والأشخاص الآخرين. في تحليلي لـ 8000 سنة من الدين والسياسة في بيرو، استخدمت مصطلحًا اجتماعيًا هو «الاحتياجات الدينية» للإشارة إلى مشاعر الشك هذه التي تتولَّد عن مشاكل لا يمكن التعامل معها بنجاح بالوسائل العادية وبالتالي تحفِّز رغبة في فعل ذلك بطرق يوحي بها الدين[57]. من المؤكد، أن الاحتياجات الدينية لا توجد فقط بين الجامعين الصيادين، ولكنها تعتبر صفة مهمة للكثير، إن لم يكن كل، المجتمعات البشرية حتى اليوم الحالي. بينما استمرت بعض الشكوك موجودة، على الأخص النهاية الحتمية لتعقدنا الخاص، لتغير الكثير من الشكوك الأخرى. نتيجة لذلك، تغيرت أغلب الاحتياجات الدينية عبر التاريخ البشري.

ولأن مجتمعات الجامعين الصائدين كانت صغيرة، فلعل أغلب أعضائها اشتركوا في وجهات نظرهم الدينية، حتى رغم أن الشكَّاك كانوا موجودين أيضًا في هذه الأزمنة المبكرة. ورغم ذلك، فإنه في هذه الجماعات التي من المفترض فيها أنها مترابطة بإحكام، لعل أغلب الناس شهدوا كمية كبيرة من الضغط لكي يتوافقوا، بينما كان من الصعب وجود بدائل موجهة، أو أنها لم توجد بالمرة. في كتابي عن بيرو، لخَّصت جهود إجبار الآخرين على الإيمان بالأفكار الدينية والمشاركة في ممارسات دينية بمصطلح «قيود دينية». وكما أرى الآن، ترتبط بشكل حميمي أنماط الاحتياجات الدينية والقيود بالحصول على المادة والطاقة، بظروف جولديلوكس السائدة، وبالحاجة إلى تفسير كيف أصبح كل شيء على ما هو عليه وببقاء تعقدنا الخاص، حتى رغم أن ذلك قد يأتي أحيانًا على حساب تدمير أنواع أخرى من التعقد، بما في ذلك الكائنات البشرية الأخرى وممتلكاتها. بالفعل، طالما كان في استطاعتنا اقتفاء أثر وجهات النظر الدينية العالمية، فإنها تتعامل دائمًا مع أسئلة حول كيفية ظهور كل شيء وكيفية المحافظة على سعادتنا الخاصة، بالإضافة إلى ما يحدث بعد الموت[58].

مجمل القول، إنه بعد 4 ملايين سنة من التاريخ البشري، يبدو أنه منذ نحو 10 آلاف سنة كانت كل الجوانب الوراثية موجودة، وسمحت للبشر أن يفعلوا كل ما يفعلونه الآن. في ذلك الوقت، لم يكن أسلافنا قد أنتجوا بعد أية كميات كبيرة من التعقد المشيد الذي يبقى وقتًا طويلًا أو أي نفاية تبقى وقتًا طويلًا. ومع ذلك، في الزمن التالي، تغير كل ذلك إلى حد كبير خلال مجرد 600 جيل بشري، عندما أصبح التعلم الجماعي العامل المهيمن على الشؤون البشرية.

الفصل السابع

التاريخ البشري الحديث
تطوُّر أكبر تعقُّدٍ معروف

مقدمة

في هذا الفصل، نلقي نظرة على ال 10 آلاف سنة الأخيرة من التاريخ البشري، عندما سيطر التغير الثقافي على التغير الوراثي كآلية تكيف مهيمنة. وخلال تلك الفترة الزمنية، تطور جنسنا البشري من عدد غير معروف من الزمر الصغيرة التي عاشت على الجمع والصيد إلى المجتمعات المعاصرة، التي تتراوح بين مجتمعات مزارعين تعيل نفسها إلى حد كبير، والتي لا تزال ضخمة في الأعداد، إلى الاقتصاديات الخدمية[1].

بينما أصبح التغير الثقافي خلال الألفيات العشرة الماضية أكثر أهمية بشكل غير مسبوق، لم يحدث أبدًا توقف، بالطبع، للتغيرات الثقافية والبيولوجية. في الواقع كانت التغيرات الثقافية والبيولوجية يؤثر كل منهما على الآخر إلى حد ما، وهو ما يحتاج حتى الآن إلى تفسير. أدت رعاية الماشية وشرب لبن الأبقار، على سبيل المثال، إلى مجتمعات ذات جينات قامت بتسهيل هضم منتجات الحيوانات هذه. وكانت لهذه القدرة الوراثية، بدورها، تأثيرات ثقافية كثيرة مهمة، تتراوح بين ظهور أساليب حياة المزارع حيث أصبحت هذه المنتجات ذات أهمية متزايدة للنمو الحالي للصناعة القائمة على الألبان في كل العالم. ولقد لعبت أيضًا المقاومة المميزة التي تتحدد وراثيًا للأمراض المعدية التي سبقت مناقشتها دورًا رئيسيًا في تشكيل التاريخ البشري الحديث. هذان مثالان فقط لجانب شديد الأهمية لماضينا المشترك. ورغم ذلك ولأنه

تنقصنا وجهات نظر عامة عن التغير الوراثي خلال الـ10 آلاف سنة الماضية، فإن أغلب الاهتمام في هذا الفصل سيركز على التغير الثقافي[2].

في مقاربة بزوغ الأرض للتاريخ البشري، سوف ننظر في الأنماط ذات المقياس الكبير للعمليات الرئيسية التي شكّلت ماضينا المشترك. وعندما نفعل ذلك، ليس من الممكن، بالطبع، مناقشة الكثير جدًا من التفاصيل. في ما يخص تاريخ الكون، نادرًا ما يقلق الناس، إذا كان هناك قلق على أي حال، من ألا يتم ذكر كل المجرات، والنجوم، والكواكب، والمذنبات، والأجسام النيزكية، وسُحُب الغبار. وفي التاريخ البشري، على العكس، يتوقَّع الجمهور عادة قصصًا تفصيلية حول الأحداث المحدَّدة، وخاصة عندما يتعلق الأمر بتاريخ مجتمعاتهم «الخاصة». وذلك جزئيًا نتيجة لمشاعر الهوية التي تتعزز بأنواع أكثر تقليدية من كتابة التاريخ، حيث يتم وضع تاريخ شعب ما -أيًا كان ما قد يعنيه ذلك- وضعًا مركزيًا.

بينما قد لا تراعي مقاربة بزوغ الأرض للتاريخ البشري أيًا من هذه المشاعر، فقد تعزِّز نوع آخر من الهوية، أي فكرة أننا كلنا نتتمي إلى نوع حيواني واحد فقط، استثنائي بالأحرى، ظهر على كوكب استثنائي بالأحرى في مكان ما في الكون، وأن أقرب أقربائنا هي الثدييات، وأننا، في الواقع، نرتبط بقرابة بكل أنواع الحياة وأن أقرباءنا الأباعد، إذا نظرنا من منظور كوني، هي الصخور، والماء بل وحتى النجوم. لأنه لو كانت حكاية التاريخ الكبير الراهنة تقدِّم وجهة نظر شاملة صحيحة معقولة عن الماضي، لأصبح كل شيء عائدًا إلى «سديم نار» الجزيئات بالغة الصغر التي ظهرت سريعًا بعد الانفجار الكبير.

واستخدام تدفقات الطاقة خلال المادة خلال ظروف جولديلوكس معينة لتفسير ظهور واندثار التعقُّد، يمكن تطبيقه بالمثل على التاريخ البشري الحديث. مع ذلك، وحسب معرفتي، فقط عدد محدود من الاختصاصيين استخدموا هذه المقاربة ضمنيًا، بينما لا أعرف التحليلات الصريحة من هذا النوع[3]. ورغم ذلك، يبدو من المعقول افتراض أن الجهود البشرية الثقافية كانت تهدف عادة إلى تغيير كل من سلوكنا والبيئة الطبيعية المحيطة بنا بطرق كان يُظن بأنها أفضل. ولعل ذلك كان يحتوي دائمًا الحصول على كميات كافية من المادة والطاقة لجعل تعقد الشخص يسير بشكل جيد مثل خلق ظروف جولديلوكس. في الممارسة، تم الحصول على مادة وطاقة أكثر بكثير -غالبًا-

من الحاجة للوفاء بالاحتياجات الأساسية. في الواقع، كما تمّت مناقشته في الفصل الخامس، لعل كل أنواع الحياة، بما في ذلك الكائنات البشرية، قد أصبحت قابلة وراثيات لفعل ذلك للبقاء في مواجهة الأزمنة القاحلة. ويُضاف إلى ذلك، أن الحصول بنجاح على المادة والطاقة وخلق ظروف جولديلوكس بواسطة مجموعة خاصة من الناس كان يعني العكس بالنسبة للبشر الآخرين. ونتيجة لذلك، اكتسب التاريخ البشري ديناميكيته الخاصة، وهو ما لم يقم أحد بتخطيطه[4].

لو أن كل ذلك بدا تجريديًا بعض الشيء، دعنا نطبّق هذه المبادئ على مثال واحد: حكاية الحرب القديمة التي (من المفترض) أن القائد الروماني جايوس يوليوس قيصر Gaius Julius Caesar قد كتبها، وفيها شرح كيف غزا بلاد الغال[5]. وفي ما يلي تلخيص حديث لهذه القصة[6]:

> «خيَّم جند قيصر لقضاء الشتاء في أماكن مختلفة في بلجيكا، ولكن في ربيع 53 قبل الميلاد، حدث أن هاجمت بعض القبائل المحلية هذه المخيمات وعانت من خسائر فادحة. قضى قيصر معظم ذلك العام في الحرب ضد هذه القبائل، وأباد بعضًا منها بالفعل، رجالًا ونساءً وأطفالًا. في العام التالي ظهر تحالف بين القبائل الغالية، تحت قيادة فيرسنجتوريكس Vercingetorix، ضد الرومان. حاولوا تجويع الرومان، بأن أحرقوا الكثير من مدنهم الخاصة وجمعوا كل قواتهم وجهزوا بضع قلاع محصنة. استولت قوات قيصر على بعض من هذه المدن، لكنها فشلت في الاستيلاء على مدن أخرى. وفي النهاية كانت كل القوات الرومانية مركزة حول مدينة أليزيا Alesia، لكنها فشلت في الاستيلاء عليها بهجوم مفاجئ. قرر قيصر تجويع القوات الغالية، وبعد حصار طويل استسلم فيرسينجتوريكس والغاليون. تصل التقديرات إلى أن مليون شخص قد قُتلوا في الحرب، وكان هناك مليون آخرون تم بيعهم باعتبارهم عبيدًا، ما أفرغ بلاد الغال من ثلث إجمالي سكانها تقريبًا».

ليس من الصعب ترجمة هذه الحكاية التاريخية إلى كفاح للهيمنة يتكون من جهود لتغيير الظروف السائدة المهمة لصالح جانب ما، بينما كان يحاول تدمير تعقد الجانب الآخر إما بالقتل بشكل كامل أو بتدمير كل من تدفقات المادة والطاقة وظروف جولديلوكس الخاصة به. بينما كانت الجيوش الرومانية تقتل رجال قبائل الغال ونساءها على نطاق هائل، ما أدى إلى خسارة كبيرة في التعقد البشري الغالي، كانت

قبائل الغال ترغب في تدمير جزء كبير من تعقدها المشيد الخاص (مدنهم، وهي ظروف جولديلوكس من صنع الإنسان) بالإضافة إلى مصادر إمدادهم المكتنزة من المادة والطاقة لكي تحرم الرومان من هذه الأشياء، بأمل أنهم عندما يفعلون ذلك، يمكن أن ينهار تعقد الرومان. ومع ذلك، قررت القبائل الغالية ألا تدمر كل تعقدها المشيد أو كل مواردها من المادة والطاقة، لأن هذا قد يؤدي إلى انهيار كل تعقدها الخاص. وسمح ذلك للرومان بغزو كمية كافية من هذه الموارد المحفوظة، وبذلك احتفظوا بتعقدهم الخاص وكانت لهم اليد العليا. حاز الرومان على الفوز النهائي بأن استسلم المحاربون الغاليون في أبنيتهم المعقدة المحصَّنة (مدينة أليزيا) وبأن انتظروا حتى خلت موارد المادة والطاقة لدى الغال. وقضى ذلك على التعقد المستقل للغال.

دعنا نفحص الآن بعضًا من الخصال البشرية العامة التي جعلت الأحداث المذهلة للـ10 آلاف سنة الماضية ممكنة. بالإضافة إلى كفاءتهم المتقنة، والتي سمحت لجنسنا البشري ببناء أنواع غير مسبوقة من التعقد، كانت لدى كل البشر المعاصرين مساهمات خاصة مشروطة وراثية لم تكن لدى الحيوانات الأخرى. والأكثر جدارة بالملاحظة، مخ وحنجرة أكثر تعقدًا سمحا للجنس البشري بإنتاج خرائط عقلية أفضل بالإضافة إلى المشاركة في أنواع أكثر كفاءة من الاتصالات والتناسق الاجتماعي. وكما أوجز جون ووليام مكنيل في كتابهما «الشبكة البشرية» (2003)، سمح ذلك للبشر بزيادة تحكمهم على تدفقات الطاقة، واستطاعوا بذلك ابتكار دعم أكبر بشكل غير مسبوق وشبكات أكثر قوة للتكافل. لخَّص وليام مكنيل ذلك كما يلي[7]:

> «ما سمح للجنس البشري بمد سيطرته على تدفقات الطاقة بهذا القدر الكبير كان أمرًا يتعلَّق بالاتصالات والعمل المخطط الذي جاء من الاتفاق على المعاني. وبمقدار ما كان ذلك مبتكرًا من الكلمات والإيماءات فإنهم استهلكوا كميات صغيرة جدًا من الطاقة -في النهاية مثل جناح الفراشة المشهور الذي يكون سببًا في بداية أعاصير- ما أثار تغيرات هائلة نسبيًا في تدفقات الطاقة عبر وجه الأرض».

مع ذلك، رغم أنه من المتوقَّع أن يكون لدى كل البشر المعاصرين كل هذه الخصال الوراثية، فقد انقضى زمن طويل -بعد أول ظهورهم منذ نحو 200 ألف سنة- قبل بدء البشر بشكل منظَّم في استخراج المزيد من الطاقة ونسج شبكات أكبر وأكثر تعقدًا. من الواضح، أن مهارتهم المتنامية بالإضافة إلى قدرتهم على التعلم والاتصال لم

تؤدِيا على الفور إلى تغيرات أساسية في طرق الجنس البشري المبكر في الحصول على المادة والطاقة. ويبدو من المرجح، من ثم، أن القدرة على الثقافة والاتصال كانت الشرط المسبق الأكثر أهمية لكل التطورات الرئيسية خلال ال 10 آلاف سنة الماضية، رغم أنه لا يمكن اعتبارها السبب الجذري المباشر.

الثورة الزراعية

منذ نحو 10 آلاف سنة، بدأ البشر في التحويل العميق لعلاقتهم بالعالم الطبيعي من خلال تدجين النباتات والحيوانات. وعندما فعلوا ذلك عزز البشر من تنافسهم مع الأنواع الأخرى في ما يخص الاستيلاء على الطاقة الشمسية. لأنهم بتدجين النباتات والحيوانات المرغوب فيها، بالإضافة إلى استثناء الأنواع الأخرى التي لم يتم اعتبارها منتجة، بدأ البشر في السيطرة والاستيلاء على الطاقة الشمسية التي تسقط على مناطق تنمو فيها هذه النباتات والحيوانات المفيدة.

وتشهد المناطق غير المدجَّنة تنوعًا حيويًا كبيرًا، حيث كل الأنواع معًا نجحت في الحصول على الطاقة الشمسية بكفاءة عالية نتيجة لتنافسها حول هذا المصدر النادر. وعندما بدأ البشر في ممارسة الزراعة وحجز الحيوانات، قاموا بتبسيط البيئة إلى حد كبير، لأنهم حاولوا استبعاد كل هذه الأنواع التي اعتبروها ضارة. ونتيجة لذلك، فإنه في هذه المناطق المدجَّنة، بدأت النباتات في الحصول على طاقة شمسية أقل من تلك التي تسقط عليها. ومع ذلك، فمن وجهة نظر الإنسان كانت هذه المناطق تنتج المزيد من الطاقة المفيدة.

من ثم يمكن تلخيص ظهور الزراعة باعتباره جهودًا بشرية كانت تهدف إلى تركيز جامعات الشمس الحيوية المفيدة (النباتات) ومحوِّلات الطاقة الحيوية (الحيوانات) في مناطق معينة لتحسين تحويل الطاقة الشمسية إلى أنواع من الطاقة الحيوية التي كانت مفيدة في المحافظة على وتحسين التعقد البشري[8]. وعندما فعلوا ذلك، ابتكر البشر مكسبًا أكبر في مصادر الطاقة من مصادر أقل مكسبًا. يسمِّي العالم فرانك نيل Frank Niele هذه المرحلة في تاريخ البشر بـ«نظام الطاقة الزراعي – الثقافي»[9]. وتلك الطاقة هي التي قادت التعقد الأكبر للمجتمعات الزراعية البشرية. ومن الواضح، أن تكلفة الحصول على هذه الطاقة والمحافظة على التعقد الجديد لم تتجاوز في قيمتها الفوائد التي استلزمتها.

نتيجة لهذه الجهود، تكاثر جزء مهم من الحياة النباتية والحيوانية على الأرض أصبح تحت سيطرة البشر بشكل مباشر. بالنسبة لكل نوع من الكائنات الحية، لم يعد الأمر عملية استبعاد طبيعي وغير عشوائي، ولكن بالأحرى عملية انتقاء ثقافية بشرية حدد من يجب أن يبقى[10]. وخلال هذه العملية، بحث المزارعون الأوائل عن تأمين إمداد ثابت لأنفسهم من المادة والطاقة باستخراج كميات متزايدة من الطاقة الشمسية المختزنة في النباتات والحيوانات من كمية معينة من اليابسة.

جاء كسب مادة وطاقة مفيدتين على حساب الحاجة إلى المزيد من العمل. ويفترض غالبًا أن هؤلاء الجامعين والصيادين الأوائل كان عليهم قضاء زمن وطاقة أقل من المزارعين لإنتاج المادة والطاقة الضروريتين. بعبارة أخرى، بالنسبة للجامعين والصيادين كان عائد الطاقة على الاستثمار أعلى. ومع ذلك، لم تكن هذه المصادر عادة مركزة أو تتغير بدرجة كبيرة خلال العام. لو لم يكن هؤلاء الناس يعيشون في مناطق ذات مصادر طاقة مركزة جدًا يمكن تخزينها طوال العالم، مثل العَيش بالقرب من تيارات البحر المقرونة بحياة بحرية، لكان عليهم أن يعيشوا بأسلوب حياة متنقل بينما لا يمكنهم استيطان اليابسة بكثافة. ونتيجة لذلك، كان عليهم المحافظة على تعقد مجتمعاتهم منخفض نسبيًا بينما يبحثون عن نمو محدود للسكان. ولأن الانتقال إلى التدجين الزراعي والحيواني تضمن المزيد من العمل، هبط عائد الطاقة على الاستثمار. ورغم ذلك سمحت التركيزات الأعلى بكثير في الحصول على المادة والطاقة للكثير جدًا من الناس بالعيش في منطقة محددة. ونتيجة لذلك، ظهرت شروط ظهور التعقد المجتمعي.

إذا رأينا الأمر من وجهة نظر عامة، يمكن تفسير الثورة الزراعية باعتبارها عملية تتكون من نوعين من نُظُم التكيّف المعقدة، البشر من جانب والنباتات والحيوانات من جانب آخر، وهما اللذان تكيّفا مع بعضهما بعضًا بشكل متبادل تحت الهيمنة البشرية، بهدف إنساني للحصول على كميات متزايدة من المادة والطاقة من منطقة معينة. ونتيجة لذلك، كان التدجين مدعِّمًا لكلٍ من البشر وبضع نباتات وحيوانات يمكن وضعها تحت وصاية الإنسان. بل إن العالم البريطاني ستيفن باديانسكي Stephen Budiansky قال بأنه من وجهة نظر الحيوان الذي تم تدجينه، ليس من الواضح بالفعل مَنْ الذي روَّض مَنْ، لأن البشر كان عليهم القيام بعمل شاق لتوفير ما يكفي من المادة

والطاقة وظروف جولديلوكس للحيوانات، بينما كان على الحيوانات أن تفعل القليل لكي تزدهر[11]. والفرضية نفسها يمكن تقديمها في ما يخص النباتات. ومع ذلك، كانت حظوظ النباتات والحيوانات المهجَّنة تتحدد إلى حد كبير حسب منافع البشر،، وليس العكس. وعندما يتوقف البشر عن رعايتها، فإن أعدادها تتضاءل بسرعة.

كانت الأنواع المهجَّنة الأكثر أهمية هي النباتات والحيوانات الاجتماعية. وهذه الكلمات تم استخدامها بالفعل بواسطة ألكسندر فون هامبولدت وتشارلز داروين. ولعل القارئ يتذكر نباتات اجتماعية، مثل الأعشاب، أو حيوانات مثل تلك الكبيرة الآكلة للعشب، وهي تعيش كلها في أعداد كبيرة قريبة من بعضها، ما يساعدها على ألا تُطبق عليها الحيوانات المفترسة. ومن ثم يمكن للنباتات الاجتماعية أن تنمو بسهولة نسبيًا بكميات كافية، بينما تشكيل المجتمعات لدى الحيوانات ييسر للبشر تولي أمر دور الذكر المسيطر في تدجين القطعان.

تحت ضغط الانتقاء البشري، حدثت تغيرات وراثية للنباتات والحيوانات المهجَّنة. وفي ما لا يثير الدهشة بالأحرى، ازدادت الأجزاء الصالحة للأكل في الحجم بينما تدهورت قدرتها على التكاثر بشكل مستقل. ونتيجة لذلك، استطاعت هذه النباتات أن تبقى فقط بفضل التدخل البشري. من الواضح، أن البشر قاموا بانتقاء الصفات التي لعلها كانت ستزول بشكل غير عشوائي في أي وضع آخر أو كانت ستظل هامشية. وكانت الحيوانات الأولى التي تم ترويضها، على العكس، أصغر عادة من أقاربها البرية. والسبب الجوهري لذلك قد يكون الاهتمام ذا الأولوية الكبرى لانتقاء الحيوانات التي كان يتم تهجينها أكثر من نظائرها البرية. ولأنه من المفترض أن كل الحيوانات المدجَّنة كانت حيوانات قطيع، فقد بدا الأمر كما لو أن الرعاة الأوائل لم ينتقوا في الكثير جدًا من الأحوال الذكور المسيطرة ولكن بالأحرى أتباعها الخنوعة، بينما أخذوا هم أنفسهم مواقع ذكور الحيوان المسيطرة. بل لعل المروِّضين الأوائل قد انتقوا هذه الحيوانات التي لم تنجو من التنافس في جماعتها الاجتماعية الخاصة، وبذلك كانت لديهم مشكلة الحصول على كميات كافية من المادة والطاقة. ولعل ظروف جولديلوكس الجديدة هذه التي قدَّمها البشر قد سمحت لهذه الحيوانات الخنوعة بفرص بقاء أفضل.

بينما انتقل البشر المعاصرون الأوائل بالفعل إلى قمة هرم الطعام الموجود خلال مرحلتهم في الصيد وكانوا لا يزالون يجمعون كميات كبيرة من المادة والطاقة من أجزائه

المنخفضة، بدأ الروّاد الزراعيون عندئذ في إعادة بناء شبكة طعام كاملة من تصميمهم الخاص. وفي الوقت نفسه، على الأقل بشكل غير مسجَّل، بدأوا أيضًا في تغيير بقية هرم الطعام البيولوجي. والنباتات والحيوانات والكائنات المجهرية الأخرى التي كانت مرغوبة بدرجة أقل، مثل الأعشاب الضارة، والقوارض، والحيوانات المفترسة والمؤذية الكبيرة، حاولت الاستفادة من ظروف جولديلوكس جديدة كوَّنتها النباتات والحيوانات المدجَّنة. أدى ذلك إلى تغيّر التوازنات في هرم الطعام غير المدجَّن. ونتيجة لذلك، كان على البشر بذل جهود لا تَكلّ للمحافظة على هذه الكائنات المفترسة محاصَرة، وهي العملية التي استمرَّت حتى الآن.

كانت هناك مناقشة أكاديمية مديدة حول الأسباب الجذرية للثورة الزراعية[12]. ومع ذلك، فحتى يومنا هذا، لم يتم بعد فهم هذه العملية جيدًا. سبقت الثورة الزراعية مرحلة ابتدائية طويلة، وخلالها أجرى الناس تجارب على نباتات وحيوانات بطرق مختلفة. وبحرق المشهد الطبيعي في أوقات معينة، على سبيل المثال، لعل الصيادين والجامعين قد دعموا أنواع نبات وحيوان مثل النباتات الحَبّية البرية وآكلات العشب الضخمة التي تم تدجينها لاحقًا[13]. ولعله من الصعب العثور على آثار لمثل هذه الجهود بالإضافة إلى المحاولات المبكرة الأخرى في التدجين. ولعل الانتقال الأوّلي إلى الزراعة والعناية بالحيوانات الداجنة كان عملية طويلة جدًا وتدريجية ربما حدثت على كل الكرة الأرضية[14].

ويبدو من المرجَّح أن تغير المناخ العالمي لعب دورًا رئيسيًا في هذه العملية. ولقد حدثت الثورة الزراعية بمجرد انتهاء العصر الجليدي الأخير، والذي شهد بداية عصر التدفئة الراهن المعروف باسم عصر الهولوسين. وهذا الانتقال، الذي جاء نتيجة لدورات ميلانكوف، لم ينبثق بشكل سلس لكنه اتصف ببعض التذبذبات الرئيسية في درجة الحرارة.منذ نحو 13500 سنة، ظهر أول عصر دافئ. وتبعه عصر أكثر برودة منذ ما بين 12500 و10500 سنة، وهو المعروف باسم «البرودة الأصغر المفاجئة Younger Dryas». وفي 2009، اقترح فريق علماء أمريكيين أن انفجارًا لمذنِّب كبير فوق قارة أمريكا الشمالية منذ نحو 12900 سنة أنتج موجة البرودة العالمية هذه (وهو ما يشكِّك في صحته باحثون آخرون)[15].

أيًا كان ما حدث، فإنه فقط بعد أن انتهت أخيرًا هذه الأحوال شديدة البرودة بدأ عصر

الهولوسين. ومن أجل عصر دافئ مماثل نحتاج إلى العودة إلى عصر ما بين الجليدي منذ نحو 125000 سنة، عندما كان البشر المعاصرون لا يزالون يعيشون في أفريقيا فقط[16]. ومن ثم، فإن ظهور عصر الهولوسين كان أول تغير كبير في المناخ مثل هذا عاشه البشر المعاصرون في كل العالم. في أماكن كثيرة، دعم ظهور عصر الهولوسين أنواعًا مختلفة من النباتات والحيوانات أكثر من تلك الأنواع التي ظهرت من قبل. ويُضاف إلى ذلك، في الكثير من هذه الأماكن، ازدياد ضغط التعداد البشري، ولعله هو الذي قاد إلى تعزيز بحثهم عن المادة والطاقة. وقد لخَّص عالم الآثار الأمريكي بروس سميث Bruce Smith هذا الأمر كما يلي[17]:

«يبدو أن الضغوط المناخية والنمو السكاني قد أسهما في العملية، عن بُعد، بأن أنتجا تدرّجات في الموارد وعزّزا الحدود الثقافية حول الموارد الغنية. لعله لم يكن من السهل الانتقال ببساطة إلى موقع أفضل عندما كانت الأزمنة قاسية، ولعل هذه المجتمعات احتاجت إلى طريقة للتعامل مع احتمالات أزمنة صعبة في مكان وجودها نفسها. في هذه المناطق، أيضًا، لعل نمو السكان أو عوامل أخرى قد زادت من درجة الخوف غير المسبوق من العجز في الموارد، حتى في أزمنة الوفرة، ما دفع المجتمعات إلى زيادة عائد ومصداقية بعض موارد الطعام، ومهَّدت الطريق للتدجين».

أكد عالم الآثار القديمة البريطاني دافيد هاريس David Harris على أنه لفهم الانتقال إلى الزراعة، نحتاج إلى أن نضع في اعتبارنا التغير الموسمي في مؤونة الطعام[18]. بينما كانت بعض الأوقات من العام قد قدَّمت وفرة من الطعام للجامعين والصيادين، لعل المواسم القاحلة أكثر من غيرها قد تضمَّنت نُدْرَة. عندما فاقم ضغط النمو السكاني وانخفاض الموارد الطبيعية نتيجة لفرط الاستغلال أو التغير المناخي من هذا الموقف، ولعل جهود مواجهة هذه المشاكل قد أدى إلى تطوّر نظام تخزين الطعام. ولعل ضغط النمو السكاني وربما تدهور الأحوال المناخية قد ضغطا بالتالي على هؤلاء الناس لكي يكرِّسوا المزيد من الاهتمام لصالح النباتات والدواب التي حدث أن اعتمدوا عليها. ونتيجة لذلك، لعلهم قد انتقلوا إلى طرق حياة زراعية ببطء ولكن بثبات.

حدثت الثورة الزراعية خلال بضعة آلاف من السنوات في عدد من المناطق على كلا جانبي المحيط الأطلنطي. ويتضمَّن ذلك المناطق كثيرة التلال في الهلال الخصيب،

المنطقة الساحلية المماثلة لوادي إنداس Indus، والتلال ذات المنحدرات المعتدلة في شرق آسيا، والنجاد المرتفعة في غينيا الجديدة (التي تتصف بالمناخ شبه الاستوائي)، والمناطق الجبلية في مكسيكو والجبال الأنديزية (وهما لهما مناخ شبه استوائي، أو حتى معتدل، اعتمادًا على الارتفاع). تشترك كل هذه الأماكن في أنها كانت مناطق تلال بمناخ شبه استوائي. ومن الواضح، أن هذه المناطق وفّرت ظروف جولديلوكس لظهور الزراعة. ويُظن في الوقت الراهن أنه من غير المرجَّح أن ابتكار الزراعة لم يتم ربطه بعد بما يكفي بجعل ذلك ممكنًا في ذلك الوقت. ويبدو من ثم كما لو أن ظهور الزراعة كان عملية تلقائية حدثت بشكل مستقل في معظم، إن لم يكن في كل، هذه المناطق.

ظهرت الزراعة بعدد من الطرق المختلفة. في أبو حريرة، على سبيل المثال، في ما هو الآن شمال سوريا، بدأ نمو الحبوب وتدجين الحيوان في وقت مبكر منذ 13 ألف سنة، خلال الانتقال إلى أول عصر دافئ، والذي انتهى في «الجفاف الأصغر» الأكثر برودة. بكلمات عالم المناخ البريطاني وليام بورروز[19] William Burroughs:

«تشير الأدلة إلى أن الصيادين- الجامعين في أبو حريرة بدأوا أولًا بزراعة محاصيل استجابة للتدهور الحاد في النباتات البرية، التي كانت تقوم بدور أطعمة خام لأربعة قرون سابقة على الأقل. يعود تدهور هذه الأطعمة البرية إلى بداية مفاجئة لمناخ أكثر جفافًا، وأكثر برودة وأكثر تقلُّبًا. وتوصَّلت أعمال لجوردون هيلمان Gordon Hillman، من جامعة كولدج في لندن وزملائه إلى أن تشكيلات البذور البرية التي كان يتم جمعها كطعام قد اختفت بالتدريج، قبل ظهور التشكيلات التي تمّت زراعتها. وهذه البذور البرية التي تعتمد في الغالب على الماء كانت هي التي ماتت أولًا، ثم تبعتها بذور تلو الأخرى من تلك البذور الأكثر صلابة. لذلك تحوَّل الصيادون الجامعون إلى زراعة بعض الأطعمة التي كانوا يجمعونها من قبل من البرية. وفي بيئة غير مستقرة، بدأ المزارعون الأوائل ببساطة بنقل النباتات البرية إلى مواطن مناسبة أكثر وزرعوها هناك.. بينما قد تكون ضغوط تزحزح تغيرات المناخ عبر «البرودة الصغرى المفاجئة» قد أتاحت دافعًا أوليًا لتكيف الزراعة، فعلى المدى الطويل كان المناخ المتقلّب للهولوسين هو العامل الحاسم لبقائها».

أيضًا في أماكن أخرى في الوادي الخصيب، استقر الناس في البداية بالقرب من الموارد الغنية للنباتات والحيوانات البرية، ثم بدأوا في تخزينها للبقاء خلال أوقات

القحط. بعبارة أخرى، إنهم استقروا بالقرب من تركيزات المادة والطاقة التي تركزت بشكل طبيعي، والتي بدأوا في حصدها. ورغم ذلك، لعله قد أدى بمرور الزمن إلى نمو سكاني بالإضافة إلى تراجع مواردهم من الطاقة. ولعله قد نتجت عن ذلك حاجة إلى بذل المزيد من العمل في تركيز الموارد الضرورية، والذي أدى إلى التحول إلى الزراعة والعناية بالحيوانات الداجنة. في الأنديز، على العكس، يبدو أن نباتات القرع (ربما بسبب مخزون الماء) والفلفل الأسود كانت من بين أوائل النباتات التي تم تدجينها، ولا يشير ذلك إلى أي احتياج كبير لموارد طعام في ذلك الوقت. ورغم ذلك، فخلال القرون التالية، طوَّر الأنديزيون والمكسيكيون الأوائل أيضًا بالأحرى نُظُم زراعة مماثلة.

حدثت مثل هذه التطورات في كل العالم. وعلى الرغم من ذلك، بدأت كل التباينات المنبثقة المحلية والإقليمية، وبدأ زارعو النباتات ورعاة الحيوانات في كل العالم يتشابهون مع بعضهم بعضًا في ما يتعلّق بالأساليب العامة. ومن الواضح، أن كل هؤلاء الناس وجدوا أنفسهم على مسار ثقافي كان يتصف بقيود معينة أنتجت هذه التشابهات. ولعل ذلك قد عمل كما يلي. أولًا، بدأ الناس يعتمدون على مواد غذائية لا بد من رعايتها طوال العام. وعندما فعلوا ذلك، غيروا كلًا من المشهد الطبيعي وسلوكهم الخاص. ونتيجة لهذه الأنشطة، أصبح نادرًا، أو ربما حتى اختفى، الكثير من الأنواع البرية التي كان الناس قد اعتمدوا عليها في وقت أقدم كوسيلة عيش، بينما ضعف المزارعون القدامى أو فقدوا مهاراتهم في الصيد والجمع. وبذلك،لم يكن أمام المزارعين الجدد ورعاة الحيوانات سوى الاستمرار عبر مسار التعقد الزراعي الذي أضبحوا يعتمدون عليه. كان هذا التطور مشابهًا إلى حدٍّ مذهل بمسار تبعية أنواع الحياة المعقدة، التي وجدوا أنفسهم فيها بعد أن ظهروا خلال الانفجار الكمبري لأنواع الحياة. بمرور الزمن، أدى مسار التبعية هذا إلى نظام زراعي أكثر تهذيبًا من أي وقت سابق، بالإضافة إلى تدهور نظام الجمع- الصيد.

يبدو كما لو أن النساء زرعن أول نباتات بينما كان الرجال يدجِّنون الحيوانات. ورغم غياب الدليل الحاسم، لعل ذلك كان امتدادًا لقواعد تصنيف جنسي تقليدي في مجتمعات الجامعين- الصيادين، والذي من خلاله كانت النساء يجمعن النباتات بينما يصطاد الرجال الحيوانات. وعندما جاء محراث الجَرّ، تحمَّل الرجال وظيفة الحراثة، والتي كانت تقوم بها النساء إلى حد كبير حتى ذلك الزمن. وبشكل أكثر عمومية، يبدو

كما لو أن الرجال قد بدأوا يحلّون محل النساء في الزراعة عندما أصبح العمل أكثر صعوبة لأنه أصبح أكثر شدة. لو أن ذلك صحيح، فلعله يعني أن النساء كان يتم دفعهن بالتدريج في المجال المنزلي المتطور خلال ذلك الزمن، بينما من المحتمل أن النطاق العام الذي يهيمن عليه الرجال كان قد بدأ يظهر.

النظام الزراعي المتطوّر

بمرور الزمن، تطورت تشكيلة واسعة من النُظُم الزراعية المحلية والإقليمية، والتي تتراوح بين تحويل الزراعة في الغابات الاستوائية إلى تربية ماشية على سافانا القارة الأوربية الآسيوية والإفريقية. بشكل عام، كان هذا هو إشعاع التكيّف الزراعي، والذي جاء نتيجة للابتكار الزراعي الرئيسي. ليس فقط أن تم إدخال أنواع جديدة بشكل منظم في النظام الزراعي، ولكن أيضًا تمت بشكل مستمر إضافة مهارات جديدة إلى المخزون التقني على هيئة أدوات جديدة، مثل المحاريث وحجر الطاحون، بالإضافة إلى طرق تضمن أن تظل الأرض خصبة، مثل الري.

تعلّم الناس أيضًا استغلال الحيوانات بطرق أكثر تنوعًا. فبدلًا من المحافظة عليها فقط كمصدر للّحوم، تعلم البشر استخراج مصادر أخرى من دوابهم على أساس أكثر ديمومة، مثل اللبن والصوف. وبالإضافة إلى ذلك، فإن ابتكار المحراث الذي يجره حيوان (استخدام طاقة الحيوان في إنتاج النبات)، الذي ربما يكون قد ظهر منذ نحو 6500 سنة، جعل الزراعة أكثر كفاءة إلى حد كبير[20]. ويمكن أن يحدث هذا التطور فقط، بالطبع، في مناطق توجد فيها حيوانات جر أثقال مناسبة، بكميات كافية من علف الحيوان ومناطق مسطّحة بما يكفي حيث يمكن استخدام هذه المحاريث الجديدة لتعود بالنفع على البشر. في الأمريكتين، لم تكن هذه الدواب موجودة. ونتيجة لذلك، حدثت هذه التطورات في العالم الجديد بعد أن أتى الإسبان بمحراث الجَرّ، مع حيوانات الجَرّ الضرورية، الثيران عادة. ورغم ذلك، لا تزال محاريث القَدَم القديمة تستخدم بواسطة البشر على المنحدرات التَلّيّة في الأنديز، حيث لا يمكن حتى اليوم استخدام محاريث الجَرّ.

أصبح المزارعون الجدد مرتبطين بالأرض التي يعملون فيها، لأنهم أصبحوا يعتمدون على المحاصيل التي يرعونها. ونتيجة لذلك، بدأوا العيش في مستعمرات أكثر ديمومة، حيث قاموا أيضًا بتخزين المحصول بالإضافة إلى الأدوات المنزلية، مثل

الفؤوس وأحجار الطاحون. بعبارة أخرى، أدت مصادر المادة والطاقة الأكثر تركيزًا والأكثر محلية إلى ظهور أنواع جديدة كثيرة جدًا من التعقّد المشيد المحلي وظروف جولديلوكس من صنع الإنسان. ولأن العائلات الزراعية أصبحت وحدات إنتاجية، كما لا تزال اليوم في المجتمعات الزراعية التقليدية، فإن ذلك قد أدى أيضًا إلى أهمية متنامية للعائلات بالغة الصغر في شبكة العائلة الأكبر. وعادة كان على الرعاة، على العكس، أن يظلوا متنقلين، لأنهم احتاجوا إلى تتبّع قطعانهم، التي احتاجت عشبًا طازجًا من وقت إلى آخر. في مثل هذه المجتمعات، كان هناك تأكيد أقل على العائلات بالغة الصغر. ويضاف إلى ذلك، أن أغلب، إن لم يكن كل، المجتمعات الزراعية طوَّرت تقويمات دورية، حيث تم تحديد أزمنة معينة للبذر، وإزالة الأعشاب الضارة والحصاد. بمرور الزمن، أدى ذلك إلى أنواع جديدة من الحذر والتناسق الاجتماعي.

تطلّب ظهور الزراعة ورعاية الحيوانات ظهور أو ابتكار نظم تخزين، والتى كانت تعتني بملحق مؤونة غذائية قد تكون غير منتظمة في أحوال أخرى.. واحتاجت هذه المواد الغذائية إلى حماية ليس فقط في مواجهة قوى الطبيعة ولكن أيضًا ضد الجشع البشري والحيواني. وأدى ذلك إلى ابتكار ظروف جولديلوكس من صنع الإنسان تم تصميمها لحماية هذه المواد، على هيئة تعقد مشيَّد، مثل أماكن التخزين، بالإضافة إلى تنظيمات اجتماعية معينة. وبعد أن ظهرت نُظُم التخزين هذه، أصبح البشر يعتمدون عليها إلى أقصى حد.

أشار عالم البيئة المؤرِّخ الأمريكي ألفريد كروسبي Alfred Crosby والفسيولوجي الأمريكي جاريد دياموند Jared Diamond، من بين آخرين، إلى أن القارة الأوربية الآسيوية كانت أكبر جزء مُتبقٍّ من القارة الفائقة أم القارات بانجيا Pangea، بعد أن انقسمت إلى عدد من القطع منذ نحو 170 مليون سنة. لذلك ليس من المثير للدهشة أن النطاق الأكبر من النباتات، وبشكل خاص الحيوانات، كان متوفرًا للتدجين في هذا الجزء من العالم. بالإضافة إلى ذلك، أنتج الموقع شرق-غرب القارة الأوربية الآسيوية مناطق بيئية مماثلة عبر مسافات كبيرة. وجعل ذلك زراعة أنواع معينة على مسافات كبيرة ممكنًا، وبذلك قام بتسهيل انتشارها إلى حد كبير.

في أفريقيا والأمريكتين، كان هناك، على العكس، حيوانات متوافرة أقل بكثير يمكن تدجينها، بينما جعل المحور السائد شمال- جنوب لهذه القارات انتشار

النباتات والحيوانات الداجنة أكثر صعوبة بكثير. بالذهاب إلى الشمال أو الجنوب في الأمريكتين، تتغير الظروف الطبيعية في الغالب بسرعة كبيرة، ما جعل الأمر صعبًا، إن لم يكن مستحيلًا، لأن تزدهر هذه النباتات والحيوانات. من هذا الجانب، تقدم تلال الأنديز استثناءً، لأنه بالصعود أو الهبوط يمكن العثور على ظروف مماثلة عبر مسافات أطول. لذلك ليس من المثير للدهشة أن إمبراطورية الإنكا تطوَّرت عبر محور الشمال-الجنوب الأنديزي. ورغم ذلك كان هذا استثناءً، وبالمقارنة بأوراسيا، حيث يمكن زراعة المحاصيل نفسها في منطقة درجة حرارة عبر كل الطريق من شرق الصين إلى غرب أوربا، كانت تلك المنطقة لا تزال صغيرة. ونتيجة لهذه الميزة الزراعية، تمتع سكان أوراسيا بالصدارة المتفوقة في الزراعة ورعاية الحيوانات وهو ما أسهم، بمرور الزمن، إلى حد كبير في تطور اجتماعي وتقني أسرع في هذا الجزء من العالم[21].

منذ نحو 1500 سنة، يبدو أن تدجين أنواع أرضية جديدة كان قد قارب على نهايته. وتبعًا للعالم البريطاني نيل روبرتس Neil Roberts، تم تدجين آخر نوع رئيسي في 3500 قبل الآن تقريبًا في العالم القديم (الجمل في الشرق الأوسط، ونبات الثوم في وسط آسيا والدخن اللؤلؤي في أفريقيا). وفي الأمريكتين، انتهت عملية التدجين منذ نحو 1500 سنة بتدجين التبغ[22]. في حدود معرفتي، فإن الاستثناءات الوحيدة هي الأرنب (العصور الوسطى في أوربا) والشمندر السكري، الذي تم تدجينه في غرب أوربا منذ نحو 200 سنة بواسطة نابوليون، كمحاولة لاستبدال قصب السكر، الذي أصبح نادرًا نتيجة لحصار البحرية البريطانية. لعله قد تم تدجين أعداد حديثة مجهولة من الأنواع الثانوية الأخرى.

في حدود معرفتي، من الصعب، وقد يكون من المستحيل، التعرف بأية طريقة في المواد المكتوبة على معظم التدجين الذي انتهى منذ وقت طويل. ولعله في ذلك الوقت قد تم بالفعل ترويض كل الأنواع الأرضية الرئيسية التي يمكن تدجينها. لكن لعله لم يكن من الجدير بالاهتمام في ذلك الوقت تدجين أنواع جديدة، لأن الأمر يحتاج إلى زمن طويل والكثير من الأجيال لتعزيز هذه الصفات التي يعتز بها البشر.

ولعل تدجين الأنواع التي تعيش في الماء قد بدأ، على العكس، في وقت أحدث كثيرًا، بينما لم يقترب بعد من نهايته. ورغم أنه في بعض المناطق يتم الاحتفاظ بالأسماك في بحيرات اصطناعية، مثل حقول الأرز، لفترات زمنية غير معروفة، نشاهد الكثير

من المحاولات الجديدة في تدجين الأسماك حاليًا. والاستغلال المغالى فيه الحالي للموارد البحرية المائية نتيجة للصيد الكثيف سار، على سبيل المثال، بمصاحبة ظهور مزارع السردين عبر الكثير من السواحل حيث اعتادت السباحة أقاربها غير المروَّضة.

وبالطبع، فإن الحديث عن نهاية إدخال أنواع أرضية جديدة في الحظيرة الزراعية لا يعني أن التطورات الزراعية في مجملها قد توقفت. على العكس، كان تحسين الحياة النباتية والحياة الحيوانية، بالإضافة إلى التقنية الزراعية، بما في ذلك ابتكار ظروف جولديلوكس مثل مزارع الأرز، وباحات مروية، وحقول ومنخفضات طافية، عملية متنامية بشكل غير مسبوق. وفي وقتنا الراهن، يلعب التعديل الوراثي دورًا رئيسيًا في تغيير هذه النباتات والحيوانات التي يعتمد عليها البشر في معيشتهم.

بمجرد انطلاق التدجين الأصلي، بدأ الناس ينقلون المحاصيل والحيوانات إلى أماكن أخرى أتاحت ظروف جولديلوكس. تلك كانت بداية عولمة النباتات والحيوانات المدجَّنة. والآن، تم نقل أغلب النباتات والحيوانات المدجَّنة إلى أي مكان يمكنها أن تنمو فيه، بينما يتم شحن أنواع كثيرة من المنتجات الزراعية على السفن في كل العالم. في المرحلة المبكرة للزراعة، وبسبب نقص الوسيلة المناسبة للنقل، لم تكن حركة المنتج على المقياس الكبير عبر مسافات أطول ممكنة. وعادة كان يتبع انتشار النباتات المزروعة والحيوانات حول العالم توسّع غير مخطَّط في الغالب لمفترسيها، مثل الحشرات، والكائنات الحية المجهرية والفئران.

التأثيرات الاجتماعية للثورة الزراعية

الانتقال إلى نظام زراعي أدى إلى تغير اجتماعي شامل. أولًا، أصبح الأطفال منتجين إلى حد كبير جدًا. في مجتمعات الجامع الصياد، كان الأطفال في الغالب عبئًا، لكن في المجتمعات الزراعية يمكنهم المشاركة إلى حد كبير في اقتصاد الأسرة بالفعل عند سن صغير، بالمساعدة في البذر، ومكافحة العشب الضار، والحصاد ورعاية الحيوانات. أزال هذا التغير القيد على النمو السكاني وأعطى بالفعل فرصة لوجود المزيد من الذرية، خاصة وأن الأطفال صاروا يقدمون رعاية للآباء والأمهات الكهول. نتيجة لذلك، بدأ التعداد السكاني البشري في الازدياد بسرعة. وتم تقدير أن التعداد البشري الكامل من المحتمل أنه وصل إلى ما بين مليون و10 ملايين شخص منذ نحو 10 آلاف سنة، بينما لعل ما بين 5 و20 مليون شخص سكنوا كوكبنا بعد ذلك بـ 5000 سنة[23].

بكلمات عالم الآثار القديمة الأمريكي إريك وولف Eric Wolf، أنه مع التعداد

السكاني الذي تنظمه العائلات، تغير الكثير من جوانب النظام الاجتماعي إلى درجة عدم القدرة على التعرف عليه[24]. وربما يكون الأكثر أهمية، أن المزارعين القدامى أصبحوا مرتبطين بقوة بالأرض التي يعملون فيها. وبالتالي، أصبحوا مرتبطين بإحكام ببعضهم بعضًا. وأصبحت قراهم «أقفاصًا اجتماعية»، حيث يعيش الناس في أعداد كبيرة ويكونون أقرب إلى بعضهم بعضًا مما حدث في أي وقت سابق[25]. وبينما يبدو أن هذه المجتمعات الزراعية ظلت زراعية نسبيًا لفترة زمنية طويلة، فإنها أصبحت أكثر تراتبية ببطء ولكن بثبات، وبذلك أدت إلى نوع من المجتمع معروف في الأنثروبولوجيا الثقافية بأنه «مِلكيات الرئيس»، حيث الرجال الأقوياء يمكنهم فرض أنفسهم على جماعات أكبر بشكل متزايد.

هناك بعض حالات التوازي المذهلة بين ظهور حيوانات معقدة وظهور المجتمعات الزراعية. كان الاعتماد المتبادل للخلايا عند الكائنات الحية متعددة الخلايا، بالإضافة إلى تقسيم العمل المنبثق بين الخلايا، متوازيًا مع اعتماد بشري متبادل متنام، وظهور تقسيم العمل الاجتماعي. فالسيطرة المتزايدة على استخدام المادة والطاقة لم تجعل الحياة المعقدة والمجتمعات الزراعية أكثر إنتاجية وبنائية فقط لكنها أيضًا أكثر تدميرًا. والتوازي الآخر أنه خلال هذه المرحلة في التاريخ البشري، تسارع التطور الثقافي، بينما انخفضت أعمار النظم الثقافية البشرية.

كجزء من ظهور تقسيم العمل، أصبح المزارعون ورعاة الماشية في الغالب معتمدين على بعضهم بعضًا، لأن الرعاة الرحالة احتاجوا إلى كربوهيدرات ينتجها المزارعون، بينما أراد الفلاحون عادة بعضًا من بروتين الماشية، بالإضافة إلى منتجات أخرى مثل الصوف، والتي كان يتحكم فيها الرعاة. ورغم أن المزارعين الجدد غير الرحالين قد أصبحوا أكثر قوة بكثير مقارنة بالجامعين والصيادين، إلا أنهم أصبحوا أيضًا أكثر تعرضًا للهجمات، لأنهم كانوا مرتبطين بأرضهم وأملاكهم المتزايدة. واعتمد الرعاة الرحّل، على العكس، على مخزون الطعام الذي يمكن نقله. يمكن للرحّل أن يهاجموا، وينهبوا ويهربوا عادة من دون عقوبة وخاصة بعد تدجين الأحصنة. ومن ثم ليس من المثير للدهشة أن الرعاة الرحّل سعوا غالبًا للحصول على المنتجات الزراعية بالنهب، الذي كان أسهل نسبيًا، نظرًا إلى تنقّلهم. وكرد فعل، بمرور الزمن تعلم المزارعون حماية أنفسهم. ونتيجة لذلك، ظهر توازن مستقر تقريبًا في التبادل.

لعل النظام الزراعي الاجتماعي المنبثق قد حفّز عملية تكثيف استغلال الأرض. ويفسّر بروس سميث ذلك كما يلي[26]:

«لعل الناس غير الرحّالة الجدد الذين عاشوا في مستعمرات كبيرة احتاجوا أنواعًا جديدة من التكامل والتفاعل الاجتماعيَّيْن وقواعد جديدة للملكية والتحكم في الأرض ومواردها. ولعل هذه التغيرات قد شجّعت على إنتاج فائض محصول أكبر، لو أن هذا الفائض تم استخدامه لتأسيس عقود والمحافظة عليها بمجموعة من الطرق: يمكن إعارتها للأقارب أو الجيران وقت الحاجة، أو تقديمها لاحتفالات الجماعة، أو إنفاقها كبائنة أو مهر عروس عندما يمثّل الزواج تحالفًا بين العائلات. هناك، من ثم، تشكيلة من القوى الاجتماعية، أكثر من كونها ولائم تنافسية، يمكنها تشجيع المجموعات العائلية على استثمار المزيد من الوقت في التعامل مع نباتات البذور في محاولة لزيادة منتجات المحاصيل والفائض القابل للتخزين».

رغم أنه صار من الممكن إنتاج فائض زراعي، لم يؤدِ ذلك إلى تراكم ملحوظ في تعقد من صنع البشر أو إلى نمو سريع للتعقد الاجتماعي لآلاف السنين. لو أن المجتمعات الزراعية التقليدية الحالية تقدِّم مثالًا جيدًا معقولًا لما حدث في الماضي، كان يتم استهلاك فائض الإنتاج في أغلبه، إن لم يكن كله، في الولائم التنافسية والالتزامات الاجتماعية الأخرى، والتي من المحتمل أنه كان لها تأثير اقتصادي قوي في المساواة في هذه المجتمعات[27]. جلبت هذه التغيرات شبكة من الالتزامات الاجتماعية التي تُعدُّ مفيدة في البقاء على قيد الحياة في الأزمنة القاحلة أكثر من غيرها. ونتيجة لهذا الموقف، لم يتراكم أي فائض جدير بالاعتبار، وهو ما حدَّ كثيرًا جدًا من ظهور أنواع أكثر توسعًا من التعقد الاجتماعي أو التقني الذي تتصف به المجتمعات «المتحضرة». بل لعل الأمر قد وصل إلى أن هؤلاء الناس فضّلوا المحافظة على تعقد مجتمعاتهم منخفضًا بقدر الإمكان. لعل هذه النزعة كانت صفة بشرية أساسية، ولعلها تطورت ببساطة، لأن خلق مزيد من التعقد يتطلب المزيد من الطاقة. بالفعل، يتساءل المرء حول سبب أن الناس قد ابتكروا المزيد من التعقد على حساب العمل الأصعب طالما كانوا سعداء نسبيًا بالحياة التي عاشوها[28].

باختصار، بعد البداية الثورية، تهيَّأت المرحلة لنوع من حياة المزارع التي شهدت استمرارًا لافتًا للنظر منذ نحو 8000 سنة مضت حتى وقت قريب جدًا. فقط في القرن العشرين بدأت نظم المزارع التحول إلى أساليب صناعية زراعية في الإنتاج. ورغم ذلك فإنه حتى الوقت الراهن، في المناطق الأقل تصنيعًا، يمكن مشاهدة الكثير من جوانب النظم الزراعية التي تطورت منذ آلاف السنوات ولا تزال موجودة.

ظهور الأديان الزراعية

تطلَّب الانتقال إلى نظام زراعي اكتساب أنواع جديدة من الإدارة الاجتماعية. لم يعد في استطاعة المزارعين الأوائل، على سبيل المثال، استهلاك كل الطعام المتوافر، كما اعتاد أن يفعل الجامعون والصيادون. أكل البذور أو استنزاف مخزون الطعام تمامًا قبل الحصاد التالي قد يعني كارثة. ويضاف إلى ذلك، أنه كان عليهم تهيئة إيقاع عملهم للدورة الزراعية، وهو ما يتضمن البذر والتخلّص من الأعشاب الضارة والحصاد. أدى ذلك إلى ابتكار طرق تحديد الوقت المناسب لفعل ذلك، والذي تم تنظيمه غالبًا على هيئة تقويم دوري يقوم على حركات الأجرام السماوية مثل الشمس والقمر، بالإضافة إلى الكوكبات النجمية الشهيرة مثل نجوم الثريا Pleiades. ولعله بفعل ذلك، بدأت المجتمعات الزراعية تعريف أول مفاهيم للزمن[29].

إحراز نجاح في رعاية الحيوان تطلَّب أيضًا أنواعًا جديدة من الانضباط الذاتي. كان على الرعاة الجَوّالين الجدد تعلُّم كيفية الإشراف على قطعانهم المتنامية بالإضافة إلى عدم ذبح حيواناتهم عند الرغبة في ذلك. وبالتالي، احتاجوا أيضًا إلى تطوير أنواع جديدة من التنبؤ والانضباط. لم تكن معايير الإدارة هذه فطرية. كان يجب تعلمها. خلال العصر نفسه، بدأ المزارعون الأوائل في التخلي عن معايير الإدارة التي تتصف بها نظم الجامع- الصياد.

كما يؤكد عالم الاجتماع الألماني نوربيرت إلياس، فإن تعلم أنواع معينة من الانضباط الذاتي صاحبته ممارسة تقييد خارجي بواسطة أشخاص آخرين. كمثال، اقترح إلياس أن السلوك الزراعي انغرس بظهور القادة الزراعيين بمساعدة معتقدات وممارسات دينية. وعندما فعلوا ذلك، لعلهم قدموا حلولًا متماسكة لهذه المشاكل. قد تفسّر هذه الفرضية سبب أنه في المجتمعات الزراعية المبكرة ظهرت قيادة تتكون من «الزعماء chiefdoms(*)» الذين كانوا أكثر قوة من أي وقت مضى. من المحتمل أن هؤلاء القادة يعودون إلى الشامان الأقدم[30].

لعل كل المزارعين الأوائل لم يكونوا في حاجة إلى تنبؤات الكهنة أو سلوكهم القسري. وكان في استطاعة المزارعين الأذكياء والحساسين في العصر الحجري التنبؤ

(*) تعبير يُراد به الزعماء أو القادة في مجتمع أكثر تطورا من المجتمع القبلي، وأقل من مجتمع الثورة الصناعية، هؤلاء الزعماء حصلوا على مناصبهم نتيجة انتماءهم لعائلات عريقة أو ثرية، وليس بالانتخاب المباشر.

بدورة الفصول بملاحظة الكثير من جوانب الطبيعة، بما في ذلك الأحداث المتكررة في السماء مثل المسار المنحني للشمس والكويكبات الرئيسية، وازدهار نباتات معينة، وظهور سلوك حيوانات معينة وبداية هطول الأمطار واختفائها، كما يفعل الكثير منهم في الوقت الحالي. وبناء على مثل هذه الملاحظات، كان في استطاعة هؤلاء المزارعين الموهوبين تبنى إدارة ضرورية بأنفسهم فقط من دون أي تدخل من كاهن.

ومع ذلك، كما قال نوربيرت إلياس وجوهان جودسبلوم، فإن إحراز نجاح في الزراعة ورعاية الحيوانات تطلّب تعاونًا بين عدد كبير من الأشخاص، بمن فيهم أولئك الذين ربما لم يكونوا موهوبين إلى حد كبير، بالإضافة إلى أولئك الذين لعلهم كانوا ممن يكسبون من دون جهد. وأي حل فاعل لهذه القضايا بالنسبة للجماعة بكاملها كان مفيدًا لكل المشاركين. ويفسر ذلك سبب أن المجتمعات الزراعية الأولى التي كان فيها رؤساء كهنة كانت أكثر نجاحًا من تلك التي لم يكن لديها هذا النوع من القيادة. ولأن أغلب، إن لم يكن كل، «الزعماء chiefdoms» كانوا رجالًا، لعل ذلك قد أسهم إلى حد كبير في ظهور المجال العام الذي يهيمن عليه الذكور[31].

من المرجَّح أكثر، أن مفردات اللغة الدينية الزراعية كان يتم التعبير عنها بمصطلحات «الطبيعة الغيبية»[32]. ولعل هذا قد تضمن أرواحًا تسكن الأرض، وبشكل خاص أكثر أم الأرض، وآلهة الجبال، ورياح من أنواع مختلفة، والبرق والرعد والشمس، والقمر، والكواكب والكويكبات السماوية. ومثل الجامعين والصيادين، ربما مال المزارعون الأوائل إلى النظر إلى طبيعة تتخللها قوى غيبية. جاء ذلك نتيجة لاعتمادهم الشديد على البيئة الطبيعية المحيطة بهم بالإضافة إلى طبيعتها المفتقدة للثبات بشكل خطير. ولعل مثل هذه الأديان الطبيعية لا تزال موجودة حتى الآن بين المزارعين ورعاة الحيوانات الذين يعيلون أنفسهم إلى حد كبير. وبمساعدة مثل هذه التصورات والممارسات الدينية، لا يزال المزارعون المعاصرون يبحثون عن معالجة مشاكل الحياة اليومية التي لا يمكنهم حلها بالوسائل العادية. ورغم أننا قد لا نستطيع أبدًا إثبات هذا الأمر بشكل حاسم، يبدو من المعقول الشك في أن هذه الأديان قد ظهرت خلال الانتقال إلى نظام زراعي[33]. كان أحد الاختلافات الرئيسية هو أن الأديان الزراعية أصبحت أكثر تشكلًا على هيئة مؤسسات من أديان الجامع- الصياد.

تزايد التعقد الزراعي وتدهور التعقد غير المروَّض

إحدى النتائج الرئيسية المؤثرة للثورة الزراعية كان النمو السكاني. تضاعفت أعداد المزارعين والقادة الأوائل بسرعة وبدأوا يعيشون أقرب إلى بعضهم مما فعله الناس من قبل في أي وقت. بعبارة أخرى، أصبحت المجتمعات الزراعية أكثر تعقيدًا[34]. وأدى الضغط السكاني المتنامي إلى توسع في النظام الزراعي إلى مناطق كثيرة ضخمة كان يحتلها الجامعون والصيادون. وكان هذا التوسع ممكنًا لأن المزارعين ورعاة الماشية كانوا قد أصبحوا أكثر قوة من الجامعين والصيادين. ولعله قد حدث أيضًا في أمثلة كثيرة، أن تبنّى الجامعون والصيادون مهارات زراعية جديدة[35]. ونتيجة لهذه التطورات، أصبحت الشبكة البشرية أكثر تعقدًا ومترابطة بشكل أكثر إحكامًا، ما سمح بتبادل أسرع للأفكار والأشياء عبر مسافات أطول، وهو ما أسهم، بدوره، إلى حد كبير جدًا في تسارع عملية التعلم الجماعي. وفي الوقت نفسه، لا بد أن مهارات الجامعين والصيادين قد تدهورت بين المزارعين، وهو ما يمكن تفسيره باعتباره عملية نسيان ثقافي.

كما سبق أن ذكرنا، احتاج المزارعون الأوائل إلى إنشاء أنواع جديدة من التعقد. وتضمّن ذلك، المسكن، وأماكن التخزين، وأدوات فخارية وأدوات زراعية، وشكلت كلها ما لم يوجد من قبل في الكون المعروف. بعبارة أخرى، مع نهوض الزراعة فإن «عصر كوب الشاي» كان قد بدأ بلا شك. أصبحت الممتلكات أكثر أهمية، بما في ذلك سلع الوجاهة، مثل الجواهر والقبور الضخمة، وهذه أسهمت في التمييز بين الناس. لقد تم استخدام أدوات حجر الصوان الإبداعية الجميلة لمثل هذا الغرض لدى الجامعين والصيادين. ورغم ذلك فإنه، بعكس المزارعين، لم يكن في استطاعة هؤلاء الناس أن يراكموا عادة سوى كميات محدودة جدًا من الأملاك المادية. وقد تطلب إنشاء كل هذه الأنواع الجديدة من التعقد مهارات جديدة، بالإضافة إلى أدوات أكثر تنوّعًا. ونتيجة لذلك، ظهر تقسيم عمل على هيئة اختصاصيين كانوا غير متفرغين ثم أصبحوا خبراء في إنتاج هذه الأشياء. ورغم ذلك يبدو أن هؤلاء العمال المَهَرَة عاشوا أولًا على الزراعة. وحتى في الوقت الحاضر، لا يزال من الممكن ملاحظة هذا الموقف في المجتمعات الزراعية التي تعيل نفسها بنفسها إلى حد كبير[36].

ونتيجة لإنتاجهم المتزايد للتعقّد، بدأ المزارعون الأوائل أيضًا في توليد كميات متنامية من الإنتروبيا. وبينما من المحتمل أن أغلب الجامعين الجوَّالين والصيادين قد

انتقلوا إلى مكان آخر عندما أصبحت الأمور غير منظمة وملوثة، فإن ذلك لم يعد خيارًا للمزارعين الأوائل[37]. ليس من المعروف جيدًا كيف عالج المزارعون القدامى هذه المشاكل، لكن الإنتاج المبكر اللافت للنظر للمشروبات المتخمِّرة (ربما للاستخدام اليومي) ربما كان حلًا لمشكلة كيفية التعامل مع مخزون المياه الملوَّث بالإنتروبيا المتولدة بتركيزات كبيرة من البشر والحيوانات نتيجة لوظائفها الجسدية.

وبالتالي، لعل الكثير من المزارعين الأوائل كانوا تحت تأثير مثل هذه المشروبات المسكرة خلال الجزء الأكبر من حياتهم. وحاليًا، يمكن ملاحظة هذا النوع من استهلاك الكحول بين المزارعين في العالم كله، لكنه قد يعود إلى العصر الذي بدأت خلاله التركيزات الكبيرة من البشر والحيوان في تلويث مخزون المياه. ولأن أغلب الناس كانوا مزارعين خلال الـ 10 آلاف سنة الماضية، لعل أغلب البشر عاشوا تحت تأثير الكحول على نحو يومي. وعادة لم يكن حراس قطعان الحيوان الكبيرة الذين يعيشون على السهوب، على العكس، يستثمرون الكثير في المساكن أو الأدوات، لأنه كان عليهم تتبُّع قطيع الحيوانات والكلأ. وبفضل أسلوب حياتهم الجَوّال، لم يكن على رعاة الماشية أن يقلقوا كثيرًا حول إنتاج الإنتروبيا. يمكنهم ببساطة أن يذهبوا إلى أي مكان آخر عندما تصبح الأمور بالغة التلوث وفوضوية.

ظهر تعقد المجتمعات الزراعية متضافرًا مع تبسيط النظم البيئية تحت سيطرة الإنسان. كان ذلك نتيجة للجهود البشرية في تركيز وحصد الطاقة الشمسية التي تستولي عليها النباتات والحيوانات المدجَّنة. ورغم أن الأرض الزراعية أقل إنتاجية بكثير من النظم البيئية غير المدجَّنة قياسًا بالطاقة الشمسية التي تستولي عليها الحياة، فإنها أكثر إنتاجية بكثير، لو تم النظر إليها من المنظور الإنساني، لأنه يمكن المحافظة على المزيد من النباتات والحيوانات عليها، وهو ما يمكن استهلاكه[38]. وأيضًا كانت المحافظة على قطعان كبيرة من الحيوانات المدجَّنة على السهوب، بينما كان يتم تهميش الأنواع البرية الأقل فائدة بشكل متزايد، جهدًا يهدف إلى جعل هذه المراعي منتجة بالنسبة للبشر بتسهيل العلاقة بين الكائنات العضوية وبيئتها. لا يستطيع البشر هضم العشب لأن أمعاءهم صغيرة نسبيًا، بينما يمكنهم أكل اللحوم وشرب اللبن الذي تنتجه الحيوانات تحت رعايتهم، في حين يستخدمون جلدها، وصوفها وعظامها لصناعة الكثير من الأشياء، التي تتراوح بين الأسلحة والملابس والخيام.

بصورة حتمية أدى ظهور الزراعة إلى انخفاض في تدفقات المادة والطاقة التي كان يحصل عليها الكثير جدًا من النباتات والحيوانات البرية. ونتيجة لذلك، تم الدفع بها بشكل متزايد إلى أماكن لا يمكن أن يذهب إليها، ولن يذهب، المزارعون ورعاة الماشية[39]. وقد أدى ذلك إلى الموقف الحالي حيث تزدهر أعداد أكبر غير مسبوقة من الأنواع المدجَّنة، بينما بقيت النباتات والحيوانات الأكبر فقط لأن البشر يحمونها ضد البشر الآخرين، إما في محميات طبيعية أو في حدائق حيوانات. ورغم ذلك لا تعاني كل الأنواع البرية نتيجة للزراعة. فزراعة الحبوب، على سبيل المثال، تدعم أعدادًا متنامية من الفئران التي، بدورها، تتم ملاحقتها بواسطة أعداد متزايدة من الطيور المفترسة. والحاجة لحماية المحصول في مواجهة القوارض أدى، من بين أمور أخرى، إلى إدخال القطط إلى النظام الزراعي.

أدت التركيزات الكبيرة لأنواع النبات والحيوان حديثة التدجين إلى ظروف جولديلوكس للكائنات الحية المجهرية التي تتغذّى عليها. ونتيجة لذلك، أصبحت أمراض النبات والحيوان متكرِّرة الحدوث بمعدل أكبر. وبسبب الاختلافات الوراثية والفسيولوجية المهمة بين البشر والحياة النباتية، كانت حشرات النبات عاجزة عادة عن القفز إلى الكائنات البشرية. بينما نجح الكثير من أمراض الحيوان في فعل ذلك بنجاح. وبالتالي، أدت الاحتكاكات المتنامية بين البشر والحيوانات الداجنة إلى تسهيل انتقال متزايد للأمراض المعدية من الحيوانات إلى البشر ما حفَّز، بدوره، جهود علاج كلّ من البشر والحيوانات من الأمراض الجديدة. أدى ذلك إلى ظهور كلّ من طب البشر وطبّ الحيوان[40].

رغم أن الزراعة أصبحت طريقة شائعة لاستخراج الطاقة الشمسية من الطبيعة، كانت ظروف جولديلوكس الخاصة بها محدودة من الناحية الجغرافية أكثر من تلك التي كان يعمل فيها الجامعون والصيَّادون. وعلى الخصوص بدرجة أعلى، كان نطاق درجة الحرارة المناسب ومخزون المياه أمرين أساسيين للوصول إلى النجاح الزراعي. وحتى في الوقت الراهن، لم تنتشر الزراعة بعد في البعد والاتساع عبر مساحات واسعة من الأرض بقدر ما حدث مع الجمع والصيد. ولا تزال البحار والمحيطات أماكن ساد فيها حتى الوقت الراهن الجمع والصيد.

من المستحيل حساب كثافات الطاقة التي تتصف بها الأنواع الجديدة من التعقد

الناشئ عن المزارعين نظرًا لنقص البيانات المناسبة. وأية محاولات لحسابها قد تشكل، في الواقع، أجندة أبحاث جديدة تمامًا. والاختصاصي الوحيد، في حدود معرفتي، الذي حاول تقدير استخدام الطاقة لكل فرد خلال التاريخ البشري كان عالم الجيولوجيا وخبير الطاقة الأمريكي إيرل فيرجاسون كوك Earl Ferguson Cook. لقد وضع هذه الأرقام في الحسبان في مقالة نُشرت في عام 1971 حول تدفُّق الطاقة في مجتمع صناعي. ومن المثير للاهتمام، أن تقديراته الأساسية والأولية بالأحرى تبدو كما لو أنها البيانات العامة الوحيدة المتاحة حول استخدام الطاقة في التاريخ البشري. والمؤلفان اللذان يتم الاقتباس عنهما غالبًا، مثل إ. ج. سيمونز وجون بينيت John Bennett، أقاما تحليلاتهما حول استخدام الطاقة في التاريخ البشري بالكامل تقريبًا على بيانات كوك[41].

تبعًا لكوك، لعل الجامع – الصياد كان يستهلك 120 واط لكل فرد كطعام بالإضافة إلى 80 واط لكل فرد من أجل «البيت والتجارة» نتيجة لاستخدام النار للحرارة والطهو. ولعل المزارعين الأوائل أكلوا نحو 160 واط لكل فرد واستخدموا بالإضافة إلى ذلك 320 واط لكل فرد من أجل «البيت، والتجارة، والزراعة والصناعة). وجاءت هذه الزيادة في معظمها نتيجة لإضافة القوة العضلية للحيوان. لعل المزارعين ورعاة الماشية «المتقدِّمين» قد استهلكوا نحو 240 واط لكل فرد كطعام، ونحو 480 واط لكل فرد من أجل «البيت والتجارة»، ونحو 280 واط لكل فرد من أجل «الزراعة والصناعة» ونحو 40 واط لكل فرد ل «النقل». كل هذه الأرقام تقديرات غير أكيدة ويجب أخذها بالحذر.

رغم أن المجتمعات الزراعية أصبحت أفضل إلى حد كبير في الحصول على المادة والطاقة مقارنة بالجامعين والصيادين، لم يكن كل المزارعين الأوائل في حال أفضل. ومن المرجَّح أكثر، أنه كانت لدى المزارعين «المتوسطين» في الغالب مشكلة في سد احتياجاتهم للطاقة. ولعل الكمية الكلية من السعرات الحرارية التي استهلكها المزارعون قد ارتفعت بالفعل، لكنهم احتاجوا إلى أكل حصة أكبر بكثير بسبب العمل اليدوي الأكثر صعوبة الذي كان عليهم إنجازه. ونتيجة لذلك، لعل الكمية الكلية للطعام المتاح كانت في الغالب غير كافية. ويضاف إلى ذلك، أنه مقارنة بالجامعين والصيادين لعل المزارعين كان لديهم منفذ محدود لموارد الطعام البري المغذي مثل الفواكه والثمار اللُّبيَّة، التي تقدم فيتامينات مهمة.

تكوين الدولة المبكرة

منذ ما بين 6 و5 آلاف سنة، تطوَّرت أول الدول. ولقد حدث ذلك بشكل ملحوظ أكثر في مصر، وبلاد ما بين النهرين وعبر ساحل المحيط الهادي في أمريكا الجنوبية. وبشكل ما لاحقًا ظهرت دول أيضًا في وادي الأنديز (منذ نحو 4500 سنة)، والصين (منذ نحو 4000 سنة) وأمريكا الوسطى (منذ نحو 3500 سنة). وحدث تكوين الدولة بفضل حقيقة أنه من حيث المبدأ، يمكن للحياة الزراعية الجديدة أن تولِّد كميات كافية من المادة والطاقة لتجعل ذلك ممكنًا. ومع ذلك، لم تظهر الدول الأولى على الفور بعد أن تكوَّنت المجتمعات الزراعية. بل على العكس، ظل مشهد الكرة الأرضية لآلاف السنين منقَّطًا بقرى صغيرة، مستقلة نسبيًا، لم تتعرَّض لسيطرة خارجية. ومن الواضح، أن الزراعة كانت شرطًا مسبقًا مهمًا لتكوين الدولة، لكنها لم تكن السبب الجذري المباشر لذلك.

من وجهة نظر اجتماعية، يمكن تعريف الدول بأنها مجتمعات تحكمها الصفوة التي تتحكَّم في احتكارين أساسيَّين. تبعًا لعالم علم الاجتماع الألماني ماكس ويبر Max Weber، يتكوَّن احتكار الدولة الأساسي من الاستخدام الرسمي للقوة الفيزيائية في تقوية نظامها. والاحتكار الثاني للدولة هو، تبعًا لنوربرت إلياس، حق فرض الضرائب. بمجرد انهيار أحد هذين الاحتكارين، تنهار الدولة. لم تظهر هذه الاحتكارات فجأة، بالطبع، لكنها ظهرت كجزء من عملية طويلة المدى[42].

جاء ظهور هذين الاحتكارين نتيجة لحقيقة أن البشر بدأوا يختارون بشكل منظم بشرًا آخرين كموارد للمادة والطاقة، وعندما فعلوا ذلك فإنهم أوجدوا ظروف جولديلوكس لأنفسهم. وفي التنافس من أجل هذه الموارد، ابتكر البشر أنواعًا جديدة من التعقد، وهي الدول، التي اتصفت بشبكات تكافل أكثر تشابكًا من أي وقت مضى. وأدى هذا التطور إلى نوع جديد من مسار الاعتماد، لأن الناس الذين استفادوا من هذه الموارد الجديدة وجدوا أنه من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، الحياة خارج الدول بعد ذلك. ومن الواضح، أن تكاليف الحصول، والمحافظة، على تعقد الدولة لم يكن من الواجب أن يتجاوز فوائدها، على الأقل بالنسبة لأولئك الذين كانوا يمارسون سلطة اجتماعية كافية.

في حكايات التاريخ التقليدية، تم وصف الدول غالبًا باعتبارها «قيام الحضارات».

ورغم ذلك فلمدة طويلة ظل الناس الذين تمتعوا بالفعل بهذه الإنجازات الثقافية أقلية صغيرة، لا تزيد عادة على نحو 10 في المائة. وفي كل الدول، حتى الثورة الصناعية، كان ال 90 في المائة المتبقية من السكان مزارعين، استمروا في حصد المادة والطاقة من البيئة الطبيعية المحيطة. ورغم أن المزارعين قدموا الطاقة التي حافظت على بقاء الدول، فإنهم حصدوا نسبيًا القليل من المنافع. ولعل صفوة الدولة حموها من الآخرين، لكن ذلك جاء على حساب فرض الضرائب الضخمة.

من بعض الجوانب، لعل الدول المبكرة كانت تشبه أنواعًا من التعايش البيولوجي، حيث تكون هناك فائدة متبادلة معينة لكل الكائنات الحية المشاركة. ورغم ذلك ففي أغلب الأحيان، كان توازن التبادل بين البشر في مجتمعات الدولة غير متكافئ بالأحرى. وبمرور الزمن، تبنى هؤلاء الذين يستغلون المزارعين في الغالب وجهة نظر أنه كان من الأفضل، كنوع من السياسة، إبقاؤهم على هامش الممتلكات، وعدم السماح لهم بالمحافظة على أي فائض. ويُضاف إلى ذلك، أن المحاصيل الضئيلة غير العادية، والحروب، والأوبئة والأمراض، بالإضافة إلى النهب غير المحدود، كلها أسهمت في جعل حياة المزارع بائسة في مجتمعات الدولة[43]. ولأنهم أصبحوا مرتبطين بالأرض، لم يكن في استطاعة المزارعين عادة الهروب من هذا الموقف.

في التاريخ الكبير، تحافظ العمليات العامة البسيطة لاستخراج الطاقة على ظهورها من جديد في أشكال مختلفة. مثل ظهور التقسيم الاجتماعي للعمل خلال نهضة الزراعة الذي يماثل ظهور أعمال الخلايا المعقدة، كانت عملية تشكيل الدولة المبكرة تشبه إلى حد كبير التغيرات في النظام البيولوجي بعد أن بدأت الحيوانات المفترسة في الظهور. في ذلك الوقت، بدأ هرم الغذاء البيولوجي يتكون من الكثير جدًا من النباتات والكائنات الحية المجهرية التي تحصد الطاقة الشمسية و، إلى حد ما، طاقة حرارة باطن الأرض، بينما قدمت قوتًا للأقلية ذات الامتياز التي تغذت عليها. بالمثل، وبينما حافظ المزارعون على استخراج الطاقة الشمسية، فإن جزءًا صغيرًا من الناس بدأ في تحويل موارده، بشكل مباشر أو غير مباشر، إلى استخدامهم الخاص، رغم أنه لم يكن من الواضح دائمًا أنهم كانوا يعطون المزارعين مقابل ذلك. وعندما فعلوا ذلك، ظهر هرم طعام اجتماعي، حيث كان جزء صغير من الناس يجمعون الموارد (الطعام، العمل وأنواع التعقد المشيد) التي تم إنتاجها بواسطة أعداد كبيرة من الأشخاص الآخرين.

لم يحدث الانتقال من مجتمعات المزارع المستقلة إلى الدول المبكرة بشكل مفاجئ. بمرور الزمن، مع نمو الضغط السكاني والاستهلاك الأكثر كثافة للموارد، ظهر «الزعماء chiefdoms»، وفي هذا النظام كان الرجال الأقوياء المحليون قادرين على قيادةِ أحلاف أكبر، ربما بشكل خاص في أوقات الحرب، لكن أيضًا خلال اللقاءات الاجتماعية الكبيرة. لو أن «الزعماء» المعاصرين يقدمون نموذجًا جيدًا لما حدث خلال هذا الانتقال القديم، فربما نستنتج أن الزعماء المحليين (السابقين) قد أقاموا ولائم ضخمة، تم فيها إحضار كميات كبيرة من المنتج إلى مكان مركزي، حيث وزعها الرجال الكبار بشكل تفاخري بين أتباعهم. مع نمو سلطة الزعماء المحليين، ربما كان في استطاعتهم المحافظة على جزء متنام من هذه المادة والطاقة لأنفسهم. بهذه الطريقة، ربما ظهر احتكار فرض الضرائب، كالإبقاء على السيطرة على فائضهم الذي تولَّد حديثًا والناس الذين جاء عن طريقهم، ربما كوَّن الرجال الأقوياء عصابات مسلحة، قدَّمت حماية في مقابل كمية معينة من المادة والطاقة. ولعل ذلك قد شهد ظهور احتكار الاستخدام القانوني للقوة الجسمانية. وتدفق الطاقة المتزايد، نتيجة لفائض الإنتاج، جعل من الممكن ظهور تعقد اجتماعي.

ولعل الحاجة إلى تعلم كيفية التخزين الناجح للمنتج والبذور حتى الموسم التالي قد أسهم أيضًا في عملية تكوين الدولة، خاصة لو حدَّد القادة المحليون أماكن تخزين تقع تحت حمايتهم. من وقت إلى آخر، ربما وقع هؤلاء الرجال الكبار تحت إغراء المحافظة على بعض من هذه المادة والطاقة لأنفسهم. لو كانوا يملكون ما يكفي من السلطة لتحويل هذه الرغبات إلى ممارسة، فمن المحتمل أن ذلك قد أسهم أيضًا في ظهور احتكارات فرض الضرائب واستخدام القوة الجسمانية.

ولكي يحدث كل ذلك، كان يجب على الظروف أن تكون «مناسبة فحسب». ومن ثم من الجدير بالملاحظة، كما أشار عالم الآثار القديمة الأمريكي روبرت كارنيرو Robert Carneiro في 1970، أن كل الدول المبكرة ظهرت في مناطق تشترك في ظروف جولديلوكس معينة، أي وديان الأنهار الخصبة المحاطة بمناطق قابلة للسكنى تقريبًا، والتي تكون صحاري غالبًا. بكلمات كارنيرو، كانت هذه المناطق «مقيَّدة بيئيًا». في وديان النهر الخصبة هذه، كان حصد المادة والطاقة سهلًا نسبيًا، بينما في الصحاري المحيطة كانت توجد فقط فرص محدودة للعيش. ونتيجة لذلك، كان الناس الذين

عاشوا في هذه الأودية أكثر تقيدًا حتى من المزارعين الآخرين، مطوَّقين بصحاري شاسعة. بمرور الزمن، سمح هذا الموقف البيئي للأشخاص الأقوياء بالهيمنة على أتباعهم الأضعف[44].

كان هناك مزيد من التغيرات البيئية التي أسهمت في تكوين الدولة المبكرة. ارتفع مستوى سطح البحر نحو 120 مترًا وحدث ذلك بعد نهاية العصر الجليدي الأخير والذي دفع الناس في الاتجاه المعاكس لتيار النهر، وبشكل أكثر جدارة بالملاحظة في بلاد ما بين النهرين، لكن ربما إلى مدى أقل أيضًا في وادي النيل بالإضافة إلى أودية عبر ساحل المحيط الهادي لأمريكا الجنوبية[45]. يُضاف إلى ذلك، أن الدول الأولى التي ظهرت خلال ذلك العصر كانت ذات درجات حرارة عالمية عالية نسبيًا، ما كان يُسمَّى فترة الهلوسين الأمثل، الذي قد يكون رفع الحدود البيئية. بالإضافة إلى أنه في نصف الكرة الأرضي الشمالي بدأت وديان الأنهار الخصبة استقبال أمطار أقل خلال تلك الفترة الزمنية نتيجة لتغير مناخي ناتج عن دورات ميلانكوف. ولعل هذا أيضًا قد أسهم في الحد البيئي بالإضافة إلى الهجرة الداخلية، ومن ثم ظهرت دول مبكرة. والحاجة المتزايدة للري لتقدم الإنتاج الزراعي ربّما أتاحت المزيد من الفرص للسيطرة المركزية، لأن السيطرة على الماء على مقياس أكبر يمكنها فقط أن تكون إنجازًا فاعلًا بتنظيم عالٍ يمكنه التفاوض مع، أو إخضاع، المنافسة المحلية والإقليمية.

ظهرت كل الدول المبكِرة بالقرب من الجبال شبه الاستوائية حيث كانت قد تم استكشاف الزراعة منذ آلاف السنين من قبل. ومن الواضح، أن القرب من المراكز المبكرة للتدجين كان شرطًا مسبقًا مهمًا لتكوين الدولة المبكرة. ورغم ذلك، فإن هذه المناطق كثيرة التلال نفسها كان من الصعب جدًا، إن لم يكن من المستحيل، أن تصبح نواة لهذه المدن. في الواقع، يعتبر الكثير من هذه المناطق خارج السيطرة المركزية الفاعلة حتى اليوم، لأن كلًا من الجيوش والبيروقراطيات تجد من الصعب العمل في مثل هذه الأحوال البيئية، بينما تكون مناسبة جدًا لحرب العصابات.

في أوراسيا، بدأ تكوين الدولة في زمن أقدم واستمر إلى حد أكبر بكثير منه في العالم الجديد. كان ذلك نتيجة التصدر الذي لا يُقهر في الزراعة الذي تمتع به العالم القديم، بفضل ثراءه في الحياة النباتية والحيوانية القابلة للتدجين. ويُضاف إلى ذلك، أنّه في سهول أوراسيا الشاسعة، أسهمت التغيرات الأسهل نسبيًا في الكثير من الأشياء

عبر مسافات طويلة، إضافة إلى النطاق الأكبر لعمل الجيوش، في المحافظة على هذا التصدّر.

لو رأينا الأمر من وجهة نظر منعزلة، يمكن تفسير التفاعل بين ظهور الدول وجيرانها كمثال لنظم التكيف في التفاعل المستمر، التي تتراوح بين محاولات التحطيم الكامل للجيران إلى الخضوع الكامل تقريبًا لهم. وبينما انهار الكثير جدًا من الدول بمرور الزمن، لم تختفِ هذه الهويات الاجتماعية أبدًا بشكل كامل. على العكس، رغم تقلبات الأحوال، استمرت عملية «التحول إلى دول» حتى إنه من الصعب، حاليًا، وجود أية مناطق متبقية من دون دولة، على الأقل على الأرض. ومن الواضح أن الدول هي بالأحرى نُظُم اجتماعية قوية.

خلق فائق الإنتاج الإجباري في الدول المبكرة تدفق طاقة جديدًا، وهو ما جعل من الممكن وجود تعقد بنيوي اجتماعي ومادي أكبر. في الدول المبكرة، تم استثمار هذه الكميات الكبيرة من المادة والطاقة الجديدتين في خلق أنواع جديدة من فن العمارة. ويتضمَّن ذلك الأبراج الهرمية في بلاد ما بين النهرين، والأهرامات المصرية بالإضافة إلى الكثير جدًا من أسوار المعابد في بيرو والتي يطلق عليها هيواكاس huacas. ولعل ظهور المباني الأوربية ذات الأحجار الأثرية الضخمة ومنها ستونهينج Stonehenge هو أيضًا جزء من هذه التطورات، رغم أنه من المحتمل أن هذه المباني قد تم بناؤها بواسطة «الزعماء chiefdoms» أكثر مما بواسطة الدول. الدين وفن معمار السلطة كانا معًا سمات سائدة في مجتمعات الدولة المبكرة.

ولعله بالإضافة إلى خدمته للاحتياجات الزراعية، تحوَّل ظهور أديان الدولة في الغالب إلى محاولات رعاية التلاحم الاجتماعي بين السكان وإلى قوننة «وضع» الحكام[46]. ونتيجة لذلك، حدث تميز في الاحتياجات الدينية والقيود بين المستويات المحلية ومستويات الدولة. وتمت ترجمة الاحتياجات الملحّة للحكام، أي كيفية البقاء في السلطة والمحافظة على الدولة المنبثقة معًا، إلى أنواع من القيود الدينية على الأعضاء الأقل قوة في هذه المجتمعات. وتمت صياغة أغلب، إن لم يكن كل، أديان الدولة المبكرة في العبارات الاصطلاحية للطبيعة الغيبية، حيث كان يتم تصوير الحكام باعتبارهم يعودون إلى الشمس والقمر. وكجزء من هذه العملية، أصبحت أديانُ الدولة المبكرة الأنواعَ السائدة للديانة العامة، بينما ظلت أديان المزارع الأقدم مهمة

على المستوى المحلي، لأنها استمرت في خدمة الاحتياجات الضرورية محليًا. لعل هذا التميز بين أديان الدولة والأديان الشعبية استمر مصاحبًا للتميز المتنامي في الحياة الاجتماعية بين مجال الهيمنة الذكورية والمجال الخاص حيث يلعب الاثنان دورًا.

ظهور الدول الكبرى

أدى ابتكار تكوين الدولة إلى إشعاع تكيّفي ثقافي أساسي. خلال مجرد 1000 سنة بعد ظهور الدول المبكرة في وديان الأنهار المقيّدة بيئيًا، بدأ تكوين الدول أيضًا في مناطق كان من الواضح أن فيها جمعًا بين النمو السكاني وسيادة بيئة تقدم ظروف جولديلوكس لحدوث ذلك. مع الكثير من تقلبات الأحوال، كانت النزعة طويلة المدى نحو توسُّع مجتمعات الدولة في كل العالم على حساب المزارعين المستقلين، بالإضافة إلى الجامعين والصيادين، الذين أصبح أغلبهم ببطء، ولكن بثبات، مهمَّشين أو حتى اختفوا. يقينًا، لزمن طويل كان في استطاعة مجتمعات القبائل الكبيرة التي لديها قوة تدميرية كافية -ربما يقدم المنغوليون أفضل مثال لذلك- أن تبقى دولًا زراعية طاغية. ورغم ذلك فللبقاء في السلطة، لم يستطع هؤلاء الغزاة المحافظة على كلٍ من سلوكهم القبائلي وهيمنتهم على الدول الزراعية لمدة طويلة. لو أن المنتصرين قد رغبوا في تقوية سلطتهم، لكان عليهم تبني أسلوب حياة المجتمعات الأكثر تعقدًا التي هزموها.

أصبحت الدول الكبيرة أكبر وأكثر تعقدًا من أي كيان بشري آخر وُجد من قبل. وتتضمَّن بعض من الأمثلة المعروفة من العالم القديم الإمبراطورية الرومانية، والإمبراطوريات الصينية، والأكبر منها جميعًا، الإمبراطورية المنغولية. في العالم الجديد، تعتبر الأمثلة دولتي المايا والأزتيك في ما هو معروف الآن بالمكسيك، بالإضافة إلى دولة الشيمو Chimu عبر ساحل المحيط الهادي لأمريكا الجنوبية، ودولتي هواري Huari والإنكا في الأنديز البيروفي. وعمل ظهور الدول الكبرى على تسهيل تبادل أكبر للأفكار، والناس والأشياء عبر مسافات متزايدة. وتضمَّن ذلك تجارة متنامية عبر المسافات الطويلة في كلٍ من مفردات الوجاهة، مثل الأحجار الكريمة والحرير، والسلع الاستهلاكية، مثل الحبوب والنبيذ، خاصة عندما يمكن نقل هذه الأشياء بواسطة السفن. ونتيجة للعدد المتنامي من هذه التفاعلات، أصبحت الشبكة البشرية في أفريقيا وأوراسيا معقدة بشكل متزايد. حدثت عملية مماثلة في الأمريكتين، رغم أن ذلك كان بسرعة أقل، بينما لم تظهر أية دول في الجزر الواقعة جنوب وغرب

ووسط المحيط الهادي Oceania على أي حال. ورغم ذلك أصبحت الشبكة البشرية أكثر تعقدًا في بعض أجزاء العالم، بفضل الرحلات البحرية الجريئة التي تولى أمرها أشخاص عبر كل ساحل المحيط الهادي، ما أدى إلى استعمار أغلب الجزر. في جزر المحيط الهادي مثل أرخبيل هاواي، كان «الزعماء chiefdoms» قد ظهروا في وقت وصول المستكشفين الأوربيين. ومن الواضح أن المحيط الهائل الذي يحيط بجزر هاواي يقدم حدًا بيئيًا كافيًا لكي يحدث ذلك.

خلال الفترة الزمنية ما بين 4000 و500 سنة مضت، أصبح الناس في كل أنحاء العالم أفضل في تكييف أنفسهم مع البيئة المحيطة، بالإضافة إلى تهيئة البيئة لتناسب رغباتهم. ورغم ذلك ظلت تقلبات الطبيعة تمارس تأثيرًا رئيسيًا على عمل الإنسان، حسب تأكيد عالم الآثار القديمة الأمريكي بريان فاجان، بما في ذلك القحط الشديد الذي أدى إلى تدهور دول المايا في يوكاتان[47]. المثال المثير للتغير المناخي العالمي الذي أثر على مجتمعات في الكثير من الأماكن كان ذلك الذي ذكره عالم المناخ الهولندي باس فان جيل Bas van Geel، الذي كان يرأس فريقًا من الباحثين الهولنديين والروس. أدى انهيار النشاط الشمسي منذ نحو 850 سنة ما قبل الحقبة التي تتوافق مع العهد المسيحي وما تبعه من أحوال بيئية أكثر رطوبة، على سبيل المثال، إلى انهيار حاد في أحوال الحياة في هولندا الشمالية الغربية، بالإضافة إلى التوسع المصاحب في أرض السيثيانيين Scythians الآسيوية الشبيهة بركوب الحصان، بفضل حقيقة أن الأحوال الأكثر رطوبة على سهوب أوراسيا قدَّمت المزيد من الغذاء لحيواناتهم. تقدِّم هذه الأمثلة مجرد تلميحات قليلة حول ماهية الموضوع الرئيسي العام، لكنه الذي يظل غير مستكشف نسبيًا، في تاريخ البشر، وهو ما يمكن أن تصل إليه تأثيرات الظروف البيئية المتغيرة على مستويات التعقد في المجتمعات البشرية[48].

في مجتمعات الدولة، تم ابتكار الكثير جدًا من التقنيات أو تحسينها، مثل صهر المعادن، وإنتاج النسيج والأواني الفخارية، وفن المعمار، والنقل بالسفن والحرب. ورغم ذلك، لم يحدث أي تحول بيئي رئيسي في حصد المادة والطاقة. ونتيجة لذلك، كانت كل الدول التقليدية مزوَّدة بطاقة شمسية متجدِّدة حصل عليها المزارعون. ربما أكثر الابتكارات ثورية كان المهارات الحربية والاجتماعية الجديدة التي احتاج إليها الحكام للسيطرة على الجماهير، بالإضافة إلى الدفاع والهجوم في ما يتعلق بالخارجين

على المجتمع. واحتاج ذلك إلى أنواع جديدة من التنظيم الاجتماعي، مثل الجيوش والجهاز البيروقراطي.

كجزء من عملية بناء الإمبراطورية، تم ابتكار وسائل أفضل للاتصال، مثل الطرق والقنوات على المسافات الطويلة التي استخدمتها الجيوش، والرسل المتناوبين، وجامعي الضرائب والبيروقراطيين، بالإضافة إلى الكثير جدًا من الطرق الأخرى في نقل المعلومات عبر مسافات طويلة بمساعدة الإشارات الصوتية والبصرية، بما في ذلك النار، والدخان وقرع الطبول. تم استخدام خطوط الاتصالات الجديدة أيضًا بواسطة التجار، والرحالة المنفردين، والمبشرين والبائعين[49]. أيضًا أصبحت الطرق، والأنهار والبحار التي تصل بين الدول تُستخدم بشكل أكثر ديمومة. أدى كل ذلك إلى سرعة غير مسبوقة في تبادل المنتج والمعلومات ومن ثم تقوية دورة الارتجاع الإيجابي في عملية التعلم الجماعي، بينما تباطأ النسيان الجماعي.

ظهور الأديان الأخلاقية

في العالم القديم، تطوَّرت بسرعة مراكز الدولة إلى مدن متنامية. في بلدان ما بين النهرين، على سبيل المثال، ظهرت أولى المناطق المدنية منذ ما بين 5000 و4000 سنة (اعتمادًا على ما يمكن للمرء أن يطلق عليه اسم مدينة). وخلال وقت قصير جدًا، صارت أعداد هائلة من الناس تعيش في المدن وعاشت على إنتاج أنواع من التعقد أو على التجارة فيها. بالنسبة لهؤلاء الناس، الذين شكَّلوا القطاع الثانوي المنبثق، أصبح اعتمادهم على الناس الآخرين في جلب المادة والطاقة مهمًا، بينما بدأت تختفي علاقاتهم الإنتاجية مع البيئة الطبيعية المحيطة. ولعل المرء يشك في أن الكثير من هؤلاء المدنيين قد أداروا معاملاتهم التجارية في الغالب داخل شبكات عائلتهم الأكبر، كما لا يزال يفعل الكثير منهم في الوقت الحالي. ورغم ذلك فمع نمو المدن وعدم معرفة أعداد متزايدة من أعضاء هذه المجموعات لبعضهم بعضًا شخصيًا، ظهرت حاجة إلى توجيهات أخلاقية، تصف كيفية التعامل مع الناس الآخرين.

في ذلك الوقت، كانت النخب الاجتماعية قد بدأت صياغة طرق السلوك المرغوب فيه على هيئة قوانين، بينما كانوا يحاولون تشكيل هويات الدولة العالية بمساعدة أديان الدولة أو باستخدام بيروقراطيات الدولة. ولقد أطلَقَ عالم الاجتماع الإنجليزي الأمريكي بينديكت أندرسون Benedict Anderson على نتائج هذه الجهود «مجتمعات

متخيلة»، لأن هؤلاء الناس لم يكونوا يعرفون بعضهم بعضًا، ومع ذلك شعروا بنوع ما من الهوية المشتركة[50]. في أغلب الدول التقليدية تم التعبير عن الهويات العالية قياسًا بالدين والنَسَب الرمزي، مع الآلهة، والملوك والملكات، وكان يتم تصويرهم غالبًا باعتبارهم «آباء وأمهات» شعبهم.

على الرغم من ذلك، وبالنسبة للكثير من المدنيين، ظلَّت هناك كمية كبيرة من الشك في ما يتعلّق بالسؤال حول كيفية التعامل مع الغرباء، والذين كان يوجد منهم الكثير. وأدت مشاعر الشك هذه إلى احتياجات دينية جديدة، وبالتالي إلى أديان، حيث أصبحت التوجيهات الأخلاقية مهمة، خاصة في ما يتعلق بالسؤال حول كيفية التعامل مع الغرباء. يمكن ملاحظة هذه النزعات أيضًا في الجيوش المتنامية. نتيجة لذلك، ظهرت أديان أخلاقية جديدة، حيث تم تعريف القيادة المرغوبة على هيئة تعاليم بواسطة رجال ملهمين بصورة قدسية (عادة لا توجد نساء، نتيجة لهيمنة الذكر على المجال العام). في هذه الأديان الجديدة، انهار -بشكل حاد- بروز قضية كيفية التعامل مع البيئة الطبيعية. وبهذه الطريقة يمكن تفسير ظهور المسيحية، والإسلام، والهندوسية (التي ظلت مزيجًا بين الدين الأخلاقي ودين الدولة المبكرة) إلى حد ما، والبوذية، بينما تمثل التعاليم الأخلاقية الصينية لكونفوشيوس تطورات مماثلة من دون توافقات غيبية خاصة.

بمجرد تحول أعداد هائلة من المدنيين إلى مثل هذا الدين، أصبح من المفيد لنخب الدولة أن يتحالفوا مع هذا النظام الديني الأخلاقي. في هذه العملية، أصبحت الأديان الأخلاقية نفسها أديان دولة، تميل إلى سعي احتكاري للتبجيل والاحتفال العام، إن لم يكن للتكريس الخاص. ونتيجة لذلك، تغيرت من جديد أنماط الاحتياجات والقيود الدينية. بدأ الكثير من الحكام، على سبيل المثال، استخدام أديان دولة جديدة لتقنين سلطتهم. وكان كهنة الدولة الجدد يرغبون عادة في فعل ذلك مقابل كمية معينة من المادة والطاقة.

أدى الانتقال إلى أديان الدولة إلى تعريفات جديدة للمعتقد الديني الرشيد، الذي يخدم بادئ ذي بدء الاحتياجات التي تشعر بها الصفوة الحاكمة. ومع ذلك، لم تكن وجهات النظر الدينية الجديدة منسجمة غالبًا مع الاحتياجات الدينية التي تمارَس على المستويات المحلية، خاصة بين المزارعين. وبالتالي، ظهرت اختلافات رئيسية بين

أديان الدولة الأخلاقية المدنية وأديان المزارعين المحلية الذين، نتيجة لعلاقات الإنتاج المباشرة الخاصة بهم مع البيئة الطبيعية المحيطة، ظلوا يمارسون الاحتياجات الدينية المعبَّر عنها بالعبارات الاصطلاحية لـ «الطبيعة الغيبية»، مثل إله الشمس وربة القمر، والأم الأرض وآلهة الجبل. وغالبًا ما أدى ذلك إلى توترات بين المندوبين الدينيين لأديان الدولة الأخلاقية والمزارعين، واستمر هذا الموقف موجودًا حتى الآن في الكثير من المناطق، مثل بيرو الأنديز. وكجزء من هذه العملية، كان هناك الكثير جدًا من التسويات الصادمة، وكانت طبيعتها تعتمد إلى حد كبير جدًا على التوازن السائد للسلطة والاعتماد المتبادل بين المناطق المدنية والريفية[51].

في الأمريكتين، ظهرت المدن بعد وقت أطول بكثير في أوراسيا. ونتيجة لذلك، لم تظهر الأديان الأخلاقية قبل حدوث الغزو الأوربي للعالم الجديد. ومن ثم كانت كل أديان الدولة الأمريكية قبل الغزو الأوربي مُصاغة بمصطلحات «الطبيعة الغيبية». في تلك الأديان، تطورت، بالطبع، قوانين الإدارة التي تهتم بكيفية التعامل مع الآخرين، بما في ذلك تقنين سلطة الدولة، لكن كان يتم تقنين هذه القوانين دائمًا بالإحالة إلى «الطبيعة الغيبية» وليس إلى تعاليم كائنات بشرية غيبية. وكنقيض للأديان الأخلاقية الجديدة في العالم القديم، لم تكن هذه القوانين معدة لكل الأشخاص بغضّ النظر عن المجتمع الذي يعيشون فيه.

الطاقة والتعقد في مجتمعات الدولة

كانت الدول مختلفة، لكنها بدأت بمرور الزمن تتسم بصفات متماثلة، مع أنها في الغالب تقريبًا، إن لم يكن بالكامل، غير مترابطة. ومن الواضح، أن الديناميكا الداخلية لتدفقات المادة والطاقة وظروف جولديلوكس تنتج نظام احتياجات وقيودًا تسبب هذه التماثلات. أصبحت كل الدول مجتمعات مرتّبة، تتضمن طبقة وسطى متخصِّصة في الإنتاج والتجارة بكميات متزايدة من التعقد المشيد، بالإضافة إلى طبقة عليا من الحكام والكهنة، الذين احتكروا السيطرة على الوسائل المهمة للعنف وفرض الضرائب، بينما استخدموا الدين لتقنين مراكزهم المتميزة.

للمحافظة على مراكزهم، كان يدعم كل صفوة الدولة جيوش ومنظّمات بيروقراطية. وأصبحت هذه المنظمات متخصِّصة في جمع، وتنظيم، وتخزين معلومات النقل بمساعدة أجهزة متعلقة بالذاكرة، تتراوح بين ألواح الصلصال والحبال والعقد الصوفية.

وحتى ذلك الوقت، كان أغلب المعلومات الاجتماعية مخزَّنة في الأمخاخ الفردية. وأدى ابتكار معلومات خارجية مسجلة إلى السيطرة على أعداد أكبر من الأشخاص وكميات أكبر بكثير من أي وقت مضى من المادة والطاقة والتعقُّد المشيَّد، بينما فتحت أيضًا فرصًا جديدة للمعلومات غير الصحيحة على مقياس كبير. ولأن السيطرة على تدفق المعلومات أصبح جوهريًا لكي تحافظ الطبقة الاجتماعية القوية على نوع التعقد الذي ترغب فيه، فقد أنفقت جهود هائلة للمحافظة على السيطرة عليها. تضمَّن ذلك محاولات الحد من تدفقات هذه المعلومات إلى الجماعات الخبيرة المتميزة، والتي تتم السيطرة عليها غالبًا بإحكام، واستخدام قوانين سرية بالإضافة إلى العروض العامة لأنواع كثيرة جدًا من الدعاية. ورغم ذلك، وعلى المدى البعيد، كان النشر العالمي لفن الكتابة بين أعداد متزايدة من الناس لا مرد له، وهو ما أدى إلى تغيرات أساسية في التعقد الاجتماعي.

كما قال جون ووليام ماكنيل، تنامت بشكل هائل على مسار التاريخ البشري مهارة تخزين ونقل المعلومات عبر مسافات كبيرة غير مسبوقة وبزيادة كبيرة في الأحجام، بينما انخفضت التكاليف. ولعل هذه النزعة قد بدأت بابتكار الكتابة، التي تبعها، بعد ذلك بوقت طويل، ابتكار الطباعة، وفي وقت أكثر حداثة تقنية البيانات الإلكترونية. ونتيجة لذلك، ازدادت بشكل هائل أيضًا قدرة البشر على التعلُّم من البشر الآخرين، بالإضافة إلى معالجة البشر، والمادة والطاقة. حدثت نزعة مماثلة بنقل السلع. بدأ ذلك مع البضائع التي يحملها البشر، على ظهور الحيوانات، وعربات اليد، ثم على الزوارق، والسفن المبحرة الكبيرة جدًا، وقطارات البخار ومراكب البخار، والسيارات والشاحنات، والأكثر حداثة، الطائرات وسفن الحاويات الضخمة. وفتح كل ابتكار فرصًا جديدة لنقل السلع عبر مسافات طويلة غير مسبوقة، بينما انخفضت التكاليف[52]. وكلتا النزعتين جعلتا في استطاعة البشر إنشاء كميات كبيرة جدًا من التعقد. ولأن التعقد الأكبر له دائمًا تكلفة ملحقة به، يقوم الناس بهذه الأمور عندما يرون فقط أن المنافع ستتخطى الاستثمار.

نتيجة للتقسيم المتزايد للعمل والتفاوت الاجتماعي المتنامي، أصبحت تدفقات المادة والطاقة في الدول الكبرى متزايدة التعقد. دعنا أولًا نفحص قمة هرم الغذاء، تتكون هذه القمة من النخبتين الأكثر قوة: الحكَّام والكهنة. كان هؤلاء يهتمون بكيفية

حفظ الدولة ودينهم، بالإضافة إلى مراكزهم الخاصة. وبالتالي، جاهدوا للسيطرة على تدفقات المادة والطاقة الضروريتين وضمان أنهم هم أنفسهم يتلقّون نصيبًا جيدًا منها. في كل مجتمعات الدولة، كانت النخب تحتقر المزارعين بلا استثناء. ونتيجة لذلك، أصبحت فلاحة الأرض والعمل اليدوي بشكل عام مهنًا ذات مكانة منخفضة.

أصبح يتم التعبير بشكل متزايد عن سلسة مراتب المكانة بأفكار النظافة والقذارة، بما في ذلك الطرق التي يمكن للناس من خلالها تجنب أن تكون أيديهم قذرة. حدث ذلك بشكل أكثر وضوحًا في الهند، ولكن أيضًا في أماكن أخرى. في الوقت الراهن، يتم النظر إلى العاملين في الأرض، من قبل معظم الأشخاص الآخرين، على أنهم ذوو مكانة منخفضة.

تشكّل قاع هرم الغذاء من أعداد كبيرة من المزارعين، تتضمن غالبًا العبيد. وبينما كان هؤلاء الناس في واقع الأمر يركزون كل المادة والطاقة التي تحافظ على استمرار الدولة، كانوا يجدون أنفسهم عادة محصورين بين أفعال الطفيليين الصغار من جانب والطفيليين الكبار (جامعي الضرائب) من جانب آخر، كما لاحظ وليام ماكنيل، بينما كانت القوارض، والطيور والحشرات تفترس ما يحصدون[53]. يُضاف إلى ذلك، كانت الحرب والغزو، مثل إخضاع بلاد الغال بواسطة يوليوس قيصر، يسببان الخراب للمزارعين. وفي أغلب الأحيان، يترك الجيش العابر الجوع وموت السكان المزارعين خلفه بعد أن يكون قد نهب الأرض إلى حد أن الجنود لا يمكنهم العودة من خلال الطريق نفسه لنقص المؤونة الكافية. ولذلك ليس من المثير للدهشة أن المزارعين أصبحوا سريعي التأثر بأفكار دينية تبشّر بأن تخفيف الألم عن البشر الذين يعانون في حياة أخرى في هذا العالم أو في عالم آخر.

كان القطاع الثاني المنبثق في المجتمع يعيش غالبًا، وليس على وجه الحصر، في مواقع مدنية أو بالقرب منها. وكان يتكوّن من اختصاصيين في صناعة التعقد، الذي يتراوح من صناعة الأواني الفخارية حتى فن البناء الضخم. وكان هؤلاء الأبطال غير المفتخر بهم، ومنهم الكثير جدًا من الأشخاص المخترعين، والتقنيين، وذوي البراعة، والبنّائين والمعماريين، والمهندسين والعلماء، يتعاملون مع مشاكل الحياة اليومية التي يمكن حلّها بالفعل. في كتابه «المهندسون القدامى»، يلخّص المؤلف العلمي الأمريكي ليون سبراج دو كامب Lyon Sprague De Camp أهميتهم كما يلي[54]:

«المهندس هو مجرد رجل، تبعًا للاهتمام، يحاول حل مشاكل الإنسان التي تتضمن مادة وطاقة. منذ أن روَّض سكان بلاد ما بين النهرين أول حيوان لهم وزرعوا أولى الحبوب، حل المهندسون العديد من هذه المشاكل. وعندما فعلوا ذلك، كانوا قد ابتكروا عالم اليوم الوليد، المعقد، والمليء بالأجهزة الصغيرة.

الحضارة، كما نعرفها اليوم، مدينة بوجودها للمهندسين. هؤلاء هم الرجال الذين، خلال قرون طويلة، تعلموا استغلال خواص المادة وموارد الطاقة لصالح الجنس البشري. وبجهد منظَّم وعقلاني في استخدام العالم المادي حولهم، اخترع المهندسون الكثير جدًا من الرفاهية والراحة التي تحدد الفرق بين حياتنا وحياة أجدادنا منذ آلاف السنين. قصة الحضارة هي، بمعنى ما، قصة الهندسة، هذا الكفاح الطويل والشاق لجعل قوى الطبيعة تعمل من أجل صالح الإنسان».

هذا التقدير الإيجابي بالأحرى (لقد طوَّر المهندسون أيضًا قدرات كثيرة جدًا مدمِّرة، ذكر دو كامب الكثير منها) يؤكد على أهمية ظهور قطاع الاختصاصيين. ربما كانت وظائفهم مربحة في الغالب على الرغم من ذلك، مع بعض الاستثناءات، وتعتبر عادة أقل وجاهة من تلك الخاصة بالحُكّام والكهنة[55].

في مراكز المدينة المدنية، أدت هذه التطورات إلى تعقد ثقافي متزايد. تم بناء أول مبانٍ كبيرة، وكانت في الغالب تلال اصطناعية ضخمة على هيئة هرمية. ولبنائها، تم استخدام الجهد البشري وقوة عضلات الحيوان، لو كان متاحًا، لمقاومة الجاذبية وإنتاج أول «فن سلطة». وعلى الدوام منذ ذلك الزمن، استمر البشر في بناء هذا النوع من فن العمارة. ورغم أن المنشآت الأكثر حداثة أصبحت أكثر تعقيدًا بكثير، لم تصبح لمدة طويلة أطول بمقدار كبير. فقط خلال العصر الصناعي أصبح من الممكن مرة أخرى إنشاء مبانٍ أطول. وتم الحصول بالفعل على أكبر مكاسب في الارتفاع خلال زمن تشكيل الدولة المبكرة وليس في الأزمنة الحديثة. منذ ما بين 6000 و5000 سنة، نمى ارتفاع المباني من نحو 10 أمتار على أبعد تقدير إلى نحو 137 مترًا (هرم خوفو في مصر)، وهي زيادة تتخطى العامل 10. بمرور الزمن، بدأ شكل المباني يختلف، من معابد وقصور إلى مناطق سكانية للفقراء، بينما أصبح تعقدها الداخلي والخارجي في أغلب الأحيان أكبر أيضًا. وشهدت أشكال الأشياء الاصطناعية الأصغر مثل أكواب الشاي، والتي تتقيد بالجاذبية بشكل أقل من المباني الضخمة، اختلافًا متزايدًا بشكل

غير مسبوق بمرور الزمن. وإذا رأينا الأمر من وجهة نظر عامة، يمكن أيضًا تفسير التعقد المشيَّد بكل تجلياته باعتباره سلسلة من الابتكارات تؤدي إلى الكثير جدًا من إشعاعات التكيّف.

في عام 2003، اقترح جوزيف تاينتر والمشاركون معه في الأبحاث، أن الدول الكبيرة قد تكون عرفت دورة حياة محدَّدة تقوم على طرق حصولهم على الطاقة. عادة كان يتم تمويل إخضاع مناطق جديدة باغتصاب موارد طاقة مركزة متاحة. لمدة قصيرة من الزمن، أنتج ذلك كمية كبيرة من التعقد الثقافي. ورغم ذلك فإنه بعد انتهاء المرحلة الأولية وبعد أن أصبح الغزو خيارًا غير ممكنًا لأسباب لوجستية وجغرافية، أصبحت نخب الدولة تعتمد على الضرائب الناتجة عن الزراعة، سيّان الضرائب العينية أو ضرائب المال. كان ذلك مصدر طاقة منخفض المكسب. في الغالب أدى ضغط الضريبة الناتج إلى انهيار دول كبيرة في النهاية. ولعل هذه الآلية توضح ديناميكية المدى الطويل لأغلب، إن لم يكن كل، الدول الزراعية إلى مدى كبير.

في المواقع المدنية، تم إنتاج كمية كبيرة من الإنتروبيا. وحتى وقت قريب جدًا، مقدر بمعايير مدن شمال الأطلنطي الحديثة، كانت المدن أماكن قذرة جدًا. وفي كتابه «المدينة في التاريخ»، صاغ المؤرِّخ الأمريكي لويس مامفورد Lewis Mumford ذلك كما يلي[56]:

> «لآلاف السنوات تحمَّل سكان المدينة تنظيمات صحية قاصرة، وفي الغالب بالغة الرداءة، تتمرغ في نفاية وقذارة، إنما كانت لديها السلطة بالتأكيد لإزالتها».

قدم الباحثان في دراسة المجتمع من خلال نفايته وليام راثجي William Rathje وكولين مورفي Cullen Murphy وصفًا بيانيًا لكيفية معالجة المدنيين الأوائل للإنتروبيا التي أنتجوها[57].

> «توصل عالم الآثار القديمة س. و. بلجين C. W. Blegen، الذي حفر في العصر البرونزي لطروادة في الخمسينات، إلى أن أرضيات مبانيها أصبحت بصورة دورية مكسوّة بمهملات كثيرة من عظام الحيوان وأشياء صغيرة من صنع الإنسان بحيث إنه «حتى الأسرة الأقل حساسية تشعر بأن هناك ما يجب عمله». كان يتم إنجاز ذلك، واكتشف بلجين أنه «ليس بكنس التراكم الكريه، ولكن بإحضار إمدادات جيدة من الطين النقي النظيف ونشره في طبقة كثيفة لتغطية الترسبات الضارة

بالصحة. في الكثير من المنازل، كما يؤكد الترسب الظاهر بوضوح، كان يتم تكرار هذه العملية من وقت إلى آخر حتى يعلو مستوى الأرضية ويصل إلى ارتفاع كبير بحيث كان من الضروري رفع السقف وإعادة بناء مدخل الغرفة». وأخيرًا، بالطبع، كان من الواجب هدم المباني تمامًا، وتعمل حوائط الطوب الطيني كأساس لمبانٍ من الطوب الطيني جديدة. بمرور الزمن ارتفعت المدن القديمة في الشرق الأوسط أعلى السهول المحيطة على أكوام من التربة الكثيفة، وتسمى تلال، والتي احتوت على بقايا مرتفعة من قرون، حتى آلاف السنين، من الاحتلال السابق».

في عام 1973، حسب المهندس المدني الأمريكي تشارلز جانيرسون Charles Gunnerson أنه لو كان على سكان نيويورك المعاصرين الذين يعيشون في مانهاتن أن ينشروا نفايتهم بصورة متعادلة على جزيرتهم بدلًا من إفراغها في مكان آخر، سيكون معدل تراكمها لكل قرن هو نفسه بالضبط مثل طروادة القديمة[58]. رغم ذلك، كما يشير هذا المثال، ظهرت نُظُم النفاية التي جاءت لتتعامل مع الزبالة بطرق أكثر فاعلية. ويتضمن ذلك نُظُم مياه المجاري وإعادة تدوير فضلات الإنسان والحيوان على هيئة سماد. ورغم أنه من المحتمل أن العمل على جانب إنتروبيا الحياة كان مفيد أحيانًا، فإنه حتى الوقت الراهن من النادر، إن لم يكن من المستحيل، أن يكون وظيفة ذات وجاهة.

نسبيًا قدَّمت مواقع النفاية المدنية ظروف جولديلوكس ممتازة للكثير من الأمراض المعدية. ونتيجة لذلك، ظلَّت توقعات طول العمر منخفضة لزمن طويل. وبالتالي، اعتمدت المدن على تدفق الناس من الريف المحيط بها للمحافظة على أعداد سكانها في معظم تاريخها[59]. ولأن الكثير من المناطق المدنية أصبح متصلًا أكثر فأكثر، بدأت الأوبئة تتفشَّى عبر مسافات متزايدة، لتبتلي الناس بمعاناة لا تُوصف. ومع ذلك فبمرور الزمن، أصبح الناجون بالتدرّج أكثر قدرة على مقاومة هذه الأمراض من خلال عملية الاستبعاد غير العشوائي للأعضاء الأكثر ضعفًا في المجتمع. وكجزء من العملية نفسها، أصبح الكثير من الكائنات الحية المجهرية المسببة للمرض ببطء، ولكن بثبات، أقل قدرة على العدوى وتحوّلت إلى أمراض أطفال. في العالم الجديد، على العكس، كانت هناك بالكاد أية حيوانات مدجَّنة، وقلة من المدن نسبيًا، بالإضافة إلى شبكات تبادل أقل عددًا، وأقل كثافة. ونتيجة لذلك، لم تتطور لدى الأمريكيين القدامى مناعة ضد مثل هذه الأمراض المعدية، لذلك عندما أصبحت أوراسيا والأمريكتان على تواصل، خضع الكثير جدًا من الأمريكيين الأصليين لتأثيرات الكائنات الحية المجهرية القادمة من أوراسيا.

بمرور الزمن، أصبح الناس أفضل في استغلال الماء وطاقة الريح بمساعدة الماء وطواحين الريح. وكما صاغ دو كامب الأمر[60]:

«عندما تعلَّم البشر استخدام طاقة الماء والريح، أصبح من الممكن تركيز الكثير جدًا من الطاقة في مكان أقل مما كان عليه الحال من قبل، وبذلك أصبح أداء الوظائف التي كانت صعبة أو مستحيلة أكثر سهولة».

في الوقت نفسه، تعلَّم الملاحون كيفية استخدام الطاقة في الأنماط السائدة للريح وجريان الماء للسفر إلى مسافة أبعد كثيرًا عبر البحار والمحيطات.

في بعض المناطق، بما في ذلك بريطانيا والصين، أصبح تعدين الفحم مهمًا، بينما كان يتم استغلال النفط الطبيعي في آسيا الوسطى لأغراض متعددة. ويرى العالم الهولندي فرانك نيل هذا التطور باعتباره بداية لما يسميه «نظام الطاقة الكربوني الزراعي»[61]. ورغم ذلك، حتى في الثورة الصناعية، فإن أغلب طرق استخراج المادة و الطاقة من البيئة واستخدامها لأغراض إنتاجية، لم تتغيّر سوى إلى حد قليل جدًا.

بينما تراوحت الدول الكبيرة والصغيرة بين الازدهار والاضمحلال، تم إنجاز ابتكارات قدَّمت ميزة طاقة لأولئك الذين يمتلكونها[62]. ورغم ذلك، ثبت أنه من المستحيل احتكار مثل هذه المهارات لمدة طويلة جدًا، وكانت النتيجة أن الفرق في الطاقة قد توقف عن الصعود وصار مستويًا من جديد. أتاح هذا التنافس القوة الدافعة التي أدت إلى ابتكار البشر لأنواع غير مسبوقة من التعقد. يقدم اختراع الأسلحة النارية مثالًا ممتازًا لهذه العملية. عندما أصبح تجهيز جيوش الدولة بأسلحة نارية من أحجام مختلفة ذا فاعلية كافية، كان على الدول الأخرى إما أن تتبنَّى هذه التقنية الجديدة أو أن تواجه الهزيمة. كانت تقنية الأسلحة النارية تقوم، بالطبع، على مبدأ تركيز الطاقة لأغراض تدميرية[63].

أول موجة للعولمة

منذ أكثر من 500 سنة بقليل، بدأت مرحلة جديدة في تاريخ البشر، أي الموجة الأولى للعولمة، التي أطلقتها رحلات كريستوفر كولمبس عبر المحيط الأطلسي. حدثت أول موجة عولمة بعد أن تعلَّم الأوربيون كيفية استغلال الطاقة المخزَّنة في الرياح وتيارات المحيط لنقل أنفسهم وحمولتهم عبر المحيطات أبعد بكثير من الموجات الكبيرة

المعتادة. وكانت أغلب معارفهم التقنية والعقلية تعود إلى العالم العربي وأماكن أخرى في آسيا، لكن تم تطويرها إلى أبعد من ذلك خلال الرحلات البحرية في مناخ غرب أوربا الأكثر صعوبة.

عندما فعل الأوربيون ذلك، بدأوا الإبحار في البحار السبعة على سفن مسلّحة بأسلحة نارية ثقيلة للاستفادة من أي شيء أينما وُجد. في فترة زمنية تقترب من 100 سنة، أدى توسع الأوربيين إلى غزو المستعمرات الإسبانية والبرتغالية، وإلى تأسيس الطرق التجارية المحيطية في العالم كله، بما في ذلك القواعد العسكرية للهيمنة التجارية الأوربية ومراكز الإنتاج عبر الكثير من السواحل الآسيوية، بالإضافة إلى استعمار السواحل الشرقية لأمريكا الشمالية بواسطة الأوربيين الشماليين في الغالب. ولأول مرة في التاريخ البشري، بدأ الناس يدورون حول الكرة الأرضية خلال أعمارهم. ومن الواضح، أن المنافع المتوقَّعة تخطت التكاليف المستثمرة في خلق والمحافظة على التعقد العالمي.

أدى كل ذلك إلى إعادة توحيد ثلاث مناطق عالمية رئيسية في شبكة إنسانية واحدة فقط، في داخلها وجدت أوربا الغربية نفسها فجأة، ولم تعد هامش القارة الأوراسية، إنما في الوسط تمامًا من شبكات تبادل متفجرة عبر المحيط الأطلسي. وتعزّزت تأثيرات هذه العملية بشدة بحقيقة أنه، في نحو ذلك الزمن، كان قد تم دخول آلة الطباعة من النوع المتحرِّك إلى أوربا الغربية، وهو ما أدى إلى ثورة في تخزين البيانات والاتصال بين الطبقات المتوسطة التي ظهرت. أنتج هذا الابتكار دورة ارتجاع إيجابي في عملية التعلّم الجماعي، وهو ما تسارع نتيجة لذلك، بينما تباطأت عملية النسيان الثقافي من جديد[64].

يمكن العثور على محفِّز مفاجئ رئيسي للتوسع الأوربي في التوسّع التركي خلال القرن الخامس عشر الذي أدى، من بين أشياء أخرى، إلى غزو القسطنطينية في العام 1453 ميلادية، بالإضافة إلى إنتاج الهيمنة العثمانية على التجارة البرية بين أوربا وآسيا. وهذا جعل مثل هذا المنتج أكثر تكلفة في أوربا الغربية وحفَّز محاولات العثور على طرق تجارة بحرية أدت إلى نتيجة غير متوقّعة هي الاكتشاف الأوربي للأمريكتين. ورغم ذلك لو لم يحدث هذا الأمر، لكانت الصلات الكثيفة عبر الأطلسي قد تأسّست قريبًا إلى حد ما على أي حال، إذا عرفنا أن بحارة الباسك، على سبيل المثال، كانوا

يصطادون الأسماك بالفعل في نيوفاوندلاند ربما من زمن قديم يعود إلى عام 1430 بعد الميلاد، بينما كان البحّارة الأوربيون يكتشفون أيضًا رياح وتيارات مياه المحيط الأطلسي الرئيسية الأخرى التي كانت مفيدة في الوصول إلى مقاصد بعيدة.

كان الغزو الأيبيري للأمريكتين يمثل تأسيس إمبراطورية تقليدية، لكن في ذلك الوقت عبر المحيط (وهو ما لم يحدث أبدًا من قبل). بينما كان الإسبان والبرتغاليون مشغولين في تأسيس مستعمراتهم الأمريكية بتكلفة عالية خلال القرن السادس عشر، حاول الهابسبورج في إسبانيا أيضًا التمسك بأملاكهم الأوربية. في أوربا الشمالية الغربية، استخدمت الطبقات المتوسطة المنبثقة، والتي كانت في الغالب مكوَّنة من تجار وحرفيين، بشكل جيد موقف الإرهاق الإمبراطوري هذا لكي تهرب من سيطرة حكامهما التقليديين.

وهكذا، بدأت مرحلة جديدة في تاريخ البشر. ظهرت دول جديدة كانت يحكمها، إلى حد كبير، أو حتى بشكل حصري، نخب تجارية وصناعية مبكرة. حدث ذلك أولًا في المقاطعات المتحدة السبع في هولندا، ثم في بريطانيا العظمى، وتبعتها الولايات المتحدة وبعد ذلك عدد متنام من دول في أماكن أخرى في أوربا والأمريكتين. وفي كل هذه الدول، بحثت الطبقات الوسطى المنبثقة عن ابتكار ظروف جولديلوكس اجتماعية ومادية تدعم مصالحها، بما في ذلك الحماية القانونية للملكية الخاصة، والممارسات التجارية والتعاملات المالية[65]. كان ذلك هو ظهور الرأسمالية كما نعرفها اليوم.

ومنذ ذلك الزمن، اكتسبت هذه العملية زخمًا في كل العالم. أصبح التجار هم أبطال عملية العولمة المبكرة. وبعكس النخب التقليدية والمزارعين، لم يكونوا مرتبطين بالأرض. كانوا يستطيعون فقط زيادة تدفقات المادة والطاقة الخاصة بهم من خلال التجارة. وعندما كانوا يفعلون ذلك، بدأوا في نقل أنواع كثيرة من المنتجات الزراعية وكل أنواع التعقد الناتج عن ذلك بقيمة إضافية عالية في كل العالم، وغالبًا بربح كبير وخلال فترات زمنية قصيرة جدًا، بضع سنوات فقط في العادة.

في عام 1580 ميلادية، تم تأسيس شبكة تجارة عالمية تهيمن عليها أوربا بوسائل سلمية وعسكرية. وأدى ذلك إلى تقسيم عمل عالمي والذي، بدوره، عزز تكثيفًا عالميًا لاستخراج المادة والطاقة، والتوسع فيه وتبادله، بالإضافة إلى إعادة تشكيل الكثير جدًا من ظروف جولديلوكس المحلية والإقليمية. وبدأ نقل الناس (غالبًا على

هيئة عبيد)، ونقل النباتات والحيوانات من قارة إلى أخرى، تبادل كولمبي(*) غيّر بيئات كل القارات[66]. ونتيجة لذلك، بدأ التعقد الثقافي العالمي في الارتفاع من جديد، بينما طغى على الكثير من أنواع التعقد المحلي والإقليمي اللاعبون الدوليون الجدد، سواء بالاستسلام أو بأن أصبحوا على الهامش.

في إنجازهم العالمي، تلقّى الأوربيون يد المساعدة من الأمراض المعدية في أوراسيا. ولقد سادت في الأمريكتين بفضل التوازن غير المتكافئ للمناعة ضد الأمراض المعدية بين العالم القديم والعالم الجديد، كما تطوَّر خلال 10 آلاف سنة. بينما أحدثت الميكروبات دمارًا بين الهنود الأمريكيين، لم يعانِ الأوربيون بالمثل من الميكروبات الطفيلية المكسيكية أو البيروفية. بالطبع، في حالات كثيرة كانت لدى الأوربيين أيضًا تقنية عسكرية أعلى. ورغم ذلك فحتى القرن التاسع عشر، كان شأن هذا التفوق بالغ الضآلة على الساحل الإفريقي الأسود، حيث منعت الأمراض الاستوائية الأوربيين من ترسيخ وجودهم أكثر داخل البلاد قبل قدوم علم الصحة والطب الحديث. وحتى في ذلك الوقت، كان غرب ووسط أفريقيا لا يزالان يُعتبران «مقبرة الرجل الأبيض». وكان من الممكن غزو الإمبراطوريات في جنوب وجنوب شرق آسيا بشكل فاعل فقط عندما عدّل التفوق التقني الناتج عن أول موجة عولمة، وبعد ذلك أيضًا عن التصنيع، توازن القوة بشكل حاسم لصالح الأوربيين. في تلك الأجزاء من العالم، كان الأوربيون والمحليون على قدم المساواة تقريبًا من حيث المناعة ضد الأمراض.

كان يُقال منذ وقت طويل إن البنية الاجتماعية لأوربا الغربية عزَّزت إلى حد كبير هذه العملية[67]. وكما كانت حالة الكثير من الدول والإقطاعيات التي وجدت نفسها في حالة مستمرة تقريبًا من الحرب، لم تكن هناك سلطة مركزية يمكنها فرض النظام أو اتخاذ قرارات تخص كيفية استخدام الموارد الأوربية بطريقة متناسقة. على سبيل المثال، بينما كان الأتراك يفرضون حصارًا على فيينا، لم يكن هناك حاكم أوربي من المهمّين يمكنه أن يقرر استخدام المستودع المشترك للموارد الأوربية لإغاثة هذه المدينة. على العكس، بينما كان سكان وسط أوربا يوقفون العثمانيين كان سكان شبه جزيرة إيبيريا مشغولين في غزو الأمريكتين.

(*) عمليات نقل هائلة حدثت بعد اكتشاف العالم الجديد، شملت نقل البشر والحيوانات والنباتات من العالم القديم إلى الأمريكتين.

تطلب الصراع الداخلي الأوربي كميات متزايدة من المادة والطاقة، وهو ما عزز جهود العثور عليهما في مكان آخر. وحسب كلمات ألين، تاينتر وهوكسترا[68]:

«بالنسبة للمجتمعات المزودة بالطاقة الشمسية والتي تستخدم الطاقة بشكل كثيف جدًا في حدود تقنيتها الخاصة، كانت الطريقة الرئيسية لزيادة الثروة هي السيطرة على مزيد من سطح الأرض حيث تسقط الطاقة الشمسية. أصبح من الضروري ضمان إنتاج الأراضي الأجنبية لتهدئة التنافس الأوربي. تم شق قناة لأنواع جديدة من الطاقة، والمصادر غير المحلية، في جزء صغير من العالم. وسمح هذا التركيز للموارد العالمية للصراع الأوربي بأن يصل إلى مستويات عالية من التعقد وارتفاع الكلفة بحيث لم يكن ليبقى بالموارد الأوربية وحدها».

أدى التنافس الأوربي الحاد إلى الكثير جدًا من الابتكارات التي تم نقلها بسرعة، بفضل تسارع عملية التعليم الجماعي. وهذا هو الذي جعل المجتمعات الأوربية أكثر قوة بكثير. وكان الجانب المهم لهذه العملية، كما لخصه ألفريد كروسبي، هو «تكميم الواقع» بشكل متزايد[69]. وهذا يعني أنه، في ذلك الوقت، كان الأوربيون قد بدأوا في القبض على المزيد من جوانب العالم بأعداد ربما أكثر من أي مكان آخر، تتراوح بين قياس الزمن والمكان حتى مسك الدفاتر وإلى الرسم والموسيقى. وهذا هو الذي جعل الأوربيين يسيطرون على المادة والطاقة بشكل أكثر فاعلية بكثير. ولا توجد حاجة تقريبًا للقول، بأن تكميم الواقع بشكل متزايد أسهم في تمهيد الطريق أمام الثورة العلمية، والتي، بدورها، مهَّدت الطريق أمام الثورة الصناعية.

في الصين، وعلى العكس، حافظت السلطة المركزية على وضع التجار تحت سيطرة مُحكمة بالأحرى. يقينًا، أنه تم في بداية القرن الخامس عشر إرسال عدة بعثات بحرية كبيرة جدًا تحت قيادة الأدميرال زينج هي Zheng He، وصلت إلى أفريقيا الشرقية. وتبعًا لمزاعم مثيرة للشك، لعل أسطوله قد وصل حتى إلى الأمريكتين. ومع ذلك، توقَّفت هذه الجهود بأمر الحاشية الملكية، ربما لأنهم قرّروا أنه من الحكمة صرف مواردهم على المحافظة على بقاء المنغوليين خارج الأقاليم الشمالية أفضل من السفر إلى بلاد بعيدة جدًا بتكلفة عالية من دون أي عائد واضح على الاستثمار[70].

مثل ظهور الدول، كانت المرحلة الأولى من العولمة تحوّلًا في نظام اجتماعي. بالطبع، كان هناك الكثير جدًا من التطورات التقنية، والأكثر أهمية الشحن في السفن

عبر المحيطات، والتي، من بين أمور أخرى، قامت بتسهيل انتقال الناس والمنتجات حول العالم إلى حد كبير. ورغم ذلك لم تؤدِ الموجة الأولى للعولمة إلى اختراق تقني رئيسي في طرق حصول المجتمعات على المادة والطاقة، بالنسبة للمجتمعات التي ظلت تتزود بطاقة شمسية متجددة. إنما الابتكار المهم جاء نتيجة ربط كل أساليب الإنتاج الموجودة في شبكة تجارة عالمية وحيدة، والتي هيمن عليها عدد صغير نسبيًا من اللاعبين.

لعل أمستردام كانت إحدى مدن العولمة الأولى، إن لم تكن أولى هذه المدن. خلال «عصرها الذهبي»، مر الناس والمنتجات من كثير من الأماكن من خلال هذه المدينة. ظهرت فيها صناعة رسم خرائط مشهورة، تنتج خرائط العالم، والأطلس الجغرافي والكرة الأرضية، بينما تباهت أوسع غرف تاون هول، التي أصبحت بعد ذلك رويال بالاس في دام سكوير، بأرضية من المرمر مع خريطة للكرة الأرضية وخريطة للسماء. بالإضافة إلى ذلك، تم إنتاج عدد كبير من الطرق الرمزية لرسم الكرة الأرضية (وهي ما أطلق عليها «أيقونات الأرض») في تلك المدينة خلال هذه الفترة الزمنية كطريقة للتعبير عن أن سكان أمستردام في القرن السابع عشر كانوا لاعبين على المستوى العالمي، في ما لا يشبه الصور الكثيرة التي تستخدمها الشركات ووسائل الإعلام الجماهيرية خلال ال 15 سنة الماضية. على سبيل المثال، كانت أيقونة الأرض، الشائعة في ذلك الوقت، هي عذراء أمستردام تمسك بالكرة الأرضية في يدها بينما تفحص بحّارَة يحملون الثروة من كل العالم. ورغم أنه في ذلك الوقت لم تكن «عولمة» العالم قد ظهرت بعد (ربما تمت صياغتها في القرن التاسع عشر)، استخدم مواطنو أمستردام، والفخر يملأهم، صورة العولمة بكثير من مثل هذه الطرق. وقد يتساءل المرء حول ما إذا كانت مدن أخرى رئيسية، على رأسها لندن وباريس، قد حدث فيها أيضًا مثل هذا الأمر في تلك الفترة الزمنية.

كجزء من أول موجة للعولمة، ظهر المنهج العلمي الحديث. كان هذا التطور مرتبطًا ارتباطًا وثيقًا بالتطورات التقنية التي كان يتم إنجازها، على سبيل المثال، في الملاحة المحيطية، ورسم الخرائط وتقنية الأسلحة النارية. وتضمَّن ذلك ابتكار التلسكوب والميكروسكوب، اللذين أتاحا للبشر رؤية الأشياء التي لم يكونوا ليستطيعون رؤيتها بالعين المجرَّدة. بمرور الزمن، تعلَّم البشر استكشاف كل نطاق الطيف الكهرومغناطيسي بمساعدة ما لا حصر له من أنواع جديدة من الحسَّاسات الاصطناعية. وهذا التطور،

الذي كان فريدًا في التاريخ البيولوجي، أدّى إلى تبصّرات جديدة كثيرة جدًا. ونتيجة لذلك، ازدادت معرفتنا بالعالم الطبيعي بسرعة، وهو ما أنتج، على سبيل المثال، أول تمثيل دقيق معقول لمجموعتنا الشمسية، وتصنيف للطبيعة الحية ما زال يتم استخدامه حتى الآن، وتشريح أفضل بكثير للكائنات الحية بالإضافة إلى المزيد من الأفكار المنفصلة حول الجُسَيمات بالغة الصغر التي يتكوَّن منها كل شيء. بعبارة أخرى، كان يتم، خلال هذه الفترة، وضع أسس التاريخ الكبير في شكله الحديث. وأدت الزيادة السريعة في المعارف العلمية والتقنية إلى سيطرة أقوى بكثير على الكثير من جوانب الطبيعة، على الأقل على المدى القصير(71).

بين 1776 و1825 ميلادية، حرَّرت أغلب المستعمرات الأوروبية في الأمريكتين نفسها من السيطرة الملكية للعالم القديم. وأصبح ذلك ممكنًا عندما لم يعد المستعمِرون معتمدين على أنواع من التعقد المشيَّد من أوربا، على الرغم من الكثير جدًا من جهود حكّامهم الأوربيين للمحافظة عليهم هكذا. أول دولة مستقلة في الأمريكتين كانت الولايات المتحدة. تمت السيطرة على هذه الدولة الجديدة بواسطة الأعضاء الأكثر ثراء في المجتمع، وبشكل خاص جدًا مؤسسة ملّاك الأرض والطبقات الوسطى.

في ما بعد، ضبطت الثورة الفرنسية، التي وجدت إلهامًا كبيرًا في هذه التطورات على الجانب الآخر من المحيط الأطلسي، النغمة على تغيرات في وظيفة المجتمع عبر كل أوربا والأمريكتين. وأدى ذلك إلى استقلال المستعمرات الأمريكية الإسبانية والبرتغالية، وهو ما أصبح ممكنًا لأن الاحتلال الفرنسي لشبه الجزيرة الأيبيرية خلال الحروب النابليونية أضعف السيطرة الإسبانية والبرتغالية على مستعمراتهما الأمريكية إلى حد استطاعت معه الطبقات الوسطى المنبثِقة في أمريكا الوسطى والجنوبية تحرير أنفسها من أسيادها الاستعماريين. ومع ذلك، وجد الكثير من هذه الدول نفسه بعد ذلك بوقت قصير في قبضة النخب الحاكمة التقليدية، بينما من وجهة نظر هندية أمريكية، لم ينتهِ الحكم الأوربي أبدًا. وقد حدثت تطورات مماثلة في مناطق أخرى، والأكثر جدارة بالملاحظة في أستراليا، ونيوزيلاندا وفي الجزر الواقعة جنوب وغرب ووسط المحيط الهادي.

التصنيع: الموجة الثانية للعولمة

كان ظهور التصنيع في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر يتضمَّن طريقة جديدة جذريًا في تعقد الإنتاج بمساعدة ماكينات تعمل بالوقود الأحفوري

الذي يتكوَّن من الطاقة الشمسية المخزَّنة في الجزيئات الحيوية التي تراكمت في قشرة الأرض عبر ملايين السنوات. وحتى ذلك الوقت، لم يكن يتم اعتبار مصادر الطاقة عالية المكسب هذه مفيدة في الصناعة. فلمدة طويلة كان الفحم والنفط يعتبران مصدرَيْ طاقة لإشعال النيران وكان يتم استخدامهما لصناعة الأوعية من المعدن والزجاج، ورغم ذلك، لم يكن يتم استخدامهما كبديل للقوة العضلية للإنسان أو الحيوان. والشيء نفسه كان يحدث بالنسبة للفحم الحجري الذي لم يتحوَّل إلى كربون، والذي كان يُستخدم كوقود في العصر الذهبي لهولندا خلال القرن السابع عشر. من هذا الوجه، فإن وصف ألكسندر فون هامبولدت -في نحو عام1800 ميلادية في ما يُسمَّى الآن فنزويلا- لآبار البترول الطبيعي بأنها مجرَّد فضول، هو وصف كاشف. وكان شكه ضئيلًا حول أن تدفقات الطاقة هذه بعد ذلك بـ 200 سنة كانت تقدم أغلب ثروة هذا البلد بالإضافة إلى قوة فاعلية سياسية كبيرة[72]. خلال الثورة الصناعية،لم يتعلَّم البشر فقط استخدام أنواع الطاقة المركزة هذه نفسها لأغراض إنتاجية، لكنهم ابتكروا أيضًا طرقًا لتكثيفها أكثر بإنتاج فحم الكوك من الفحم الحجري، والبنزين من النفط والكهرباء من كليهما.

هكذا كانت الثورة الصناعية وراء ظهور طريقة جديدة لحصول البشر على الطاقة الكفيلة بالمحافظة على استمرار تعقدهم. ومن الواضح، أن منافع ابتكار التعقد الصناعي والمحافظة عليه قد تجاوزا تكاليف قيمته، على الأقل على المدى القصير. وحتى ذلك الوقت، كانت كل المجتمعات تقريبًا تحصل على الطاقة من طاقة شمسية متجدِّدة من خلال الزراعة أو الجمع والصيد. ورغم ذلك، فمع بداية القرن التاسع عشر، أضاف استخدام الوقود الأحفوري كميات هائلة من الطاقة غير المتجدّدة إلى المخزون البشري، وهو ما تم استخدامه في كلٍ من أغراض البناء والتدمير. وسمح ذلك لجنسنا البشري بأن ينتج، مؤقَّتًا على الأقل، ويقوم بتشغيل نطاق متوسع من أنواع أكثر تعقيدًا بشكل غير مسبوق من التعقد المشيد، طالما كانت المنافع تتجاوز التكاليف. أدى هذا التطور إلى تغيرات عميقة في التعقد الاجتماعي. وسبَّب تغيرًا حادًا في نوع وشكل هرم الغذاء الإنساني، بينما تمت إعادة تقوية النزعات الموجودة بالفعل في التغير في هرم غذاء الحياة المنتج بواسطة البشر، إلى حد كبير.

أدى تصنيع المجتمع إلى تقوية شديدة للنزعات العامة التي ظهرت خلال الموجة الأولى للعولمة وكان سببًا في موجة ثانية. ظهر الإنتاج الصناعي أولًا في مناطق كانت

مزوَّدة بالمصادر الجديدة الضرورية، كان أغلبها الفحم، والحديد والماء، لكن انتشارها السريع بعد ذلك بوقت قصير حفَّز بحثًا على المستوى العالمي عن مصادر طبيعية من أنواع كثيرة. تم نقل هذه المصادر إلى المصانع، التي أنتجت بعد ذلك تشكيلة متزايدة من المنتجات بكميات غير مسبوقة وبأسعار منخفضة نسبيًا. وبالتالي، اتخذ بيع السلع المصنَّعة بسرعة أبعادًا عالمية، لأن وسائل النقل كانت قد أصبحت ثورية على هيئة قطارات وسفن تعمل بالبخار. وأصبح التعداد السكاني العالمي أكثر اعتمادًا على بعضه بعضًا بشكل غير مسبوق، مع زيادة أعداد المناطق التي أصبحت مورِّدة للمصادر الطبيعية من أجل الصناعة، بالإضافة إلى كونها أسواقًا لمنتجاتها. ولقد جعل التصنيع الجيوش أكثر قدرة على التدمير من أي وقت مضى.

ولم يكن من الممكن ظهور وسائل النمو والتكثيف المتزايدين للاتصال عبر المسافات الطويلة (أولًا التلغراف وبعد ذلك التليفون، وتبعهما الراديو، والتلفزيون، والأكثر حداثة، الإنترنت) من دون اقتصاد يقوم بشكل متزايد على الوقود غير العضوي. يمكن قول الشيء نفسه عن تسجيل الصور من خلال التصوير الفوتوغرافي والفيلم، بالإضافة إلى الصوت مع ظهور التسجيلات السمعية. وأسهم كل ذلك في التعلم والترفيه الجماعيين على المستوى العالمي، من علم الفلك حتى الثقافة الشعبية.

ظهر التصنيع أولًا في بريطانيا العظمى حيث، من الواضح، أن ظروف جولديلوكس دعَّمت ذلك. فمع نهاية العصور الوسطى، بدأ الإنجليز في تعدين الفحم، وعزَّز ذلك فقط الغابات، التي كانت المصدر الرئيسي للوقود. كانوا يحفرون أيضًا بحثًا عن مصادر طبيعية أخرى، مثل الحديد والقصدير. وفي الكثير من هذه المناجم، كان منسوب الماء الأرضي المرتفع يجعل من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، الوصول إلى مستويات أعمق. وكحَلٍّ لهذه المشكلة، قام المهندس الإنجليزي توماس نيوكومين Thomas Newcomen بتحسين تصميم «محرك نار» موجود بالفعل (كان محرّك بخار أوليًا). وعندما فعل ذلك، ابتكر أول محرك بخاري كان في استطاعته ضخ الماء وجعل من السهل الوصول إلى أعماق في المناجم أكثر انخفاضًا. كانت الفكرة المركزية هي استخدام مصدرَيْن متوفرَين، الماء والفحم، للتخلص من المياه الجوفية والحصول على مدخل لفحم الأعماق والمواد المعدنية الأخرى. بالمعايير التي أتت بعد ذلك كانت محركات نيوكومين لا تتصف بالكفاءة.

في سبعينات القرن الثامن عشر، وبينما كان البحث جاريًا لتحسين نموذج محرك نيوكومين، قدَّم المهندس الإسكتلندي جيمس واط James Watt عددًا من التحسينات الأساسية، التي جعلت محركات البخار تكتسب الكثير من الكفاءة. وسمح ذلك باستخدامها على نطاق واسع من الأنشطة الإنتاجية، أولها الغزل والنسج. بعد أن كان يحصل على براءات اختراعاته، أسس جيمس واط والمقاول الإنجليزي ماثيو بولتون Matthew Boulton مشروعًا مشتركًا ضخمًا لصناعة وبيع محركات البخار هذه. كانت نتيجة استخدام مصدر الطاقة الجديد هذا تخفيض تكاليف إنشاء التعقد إلى حد هائل. وما أسرع ما أدى ذلك إلى ظهور نوع جديد من المقاولين، والصناعيين الذين بدأوا جمع كمية كبيرة من المال بإنتاج وبيع نطاق واسع إلى حد كبير من التعقد الذي تم إنتاجه بمساعدة الماكينات التي تعمل بالوقود الأحفوري[73].

أيًا كانت أهمية الاختراق التقني لواط، لم يكن تصنيع المجتمع ليحدث من دون تاريخ طويل من تطورات معينة، سياسية، واقتصادية، وثقافية اجتماعية، وتقنية وعلمية، بما في ذلك نهوض طبقة مقاولين تجارية وصناعية مبكرة، ضمنت أحوال جولديلوكس لأعمالها على هيئة حماية قانونية. في بريطانيا العظمى، كان ذلك يتضمن احتكارًا مؤقتًا للابتكارات على هيئة براءات اختراع سمحت للمبتكرين بجمع ربح من ذكائهم[74].

هكذا سمحت السيطرة على عمليات الإنتاج الصناعي الجديدة هذه للطبقات الوسطى بأن تصبح الطبقة الأكثر ثروة وقوة في المجتمع. وتم توصيف ذلك بواسطة كارل ماركس Karl Marx بأن البرجوازية تتولى إدارة الدولة. خلال 100 سنة فقط، أدى هذا التغير الاجتماعي الحاسم إلى ظهور الديمقراطيات الحديثة. أولًا، طالبت الطبقات الوسطى متزايدة القوة بحقوق التصويت لنفسها. وفي ما بعد، نجحت الطبقات العاملة المدنية المنبثقة في تنظيم نفسها إلى حد أنها حصلت أيضًا على مدخل إلى العملية الديمقراطية. بعد أن بدأت الانتخابات في توجيه قانون الدولة، لم تعد هناك حاجة إلى أديان الدولة لتفعل ذلك. وأدى ذلك إلى إضعاف حقيقي للرابطة بين الكنيسة والدولة. وفي الوقت نفسه، بدأ الكثير من طبقات المجتمع في الالتحام لتكوين ديانة كانت أكثر توافقًا مع أحوال معيشتهم ومع الاحتياجات الدينية المرافقة لها.

كجزء من الانتقال من المجتمع الزراعي إلى المجتمع الصناعي، أصبحت عادة المزارعين في تناول المشروبات الكحولية تُوصَم بالعار، وأقل سبب لذلك أنه أصبح

من الخطورة العمل على الآلات تحت تأثير الكحول. وقاد ذلك إلى المثل الأعلى في نظام التعفّف عن الشرب، على الأقل خلال النهار. وتم توجيه هذه الحملات المضادة للكحول وضد الشرب الكثيف بواسطة العمال الصناعيين بعد استلامهم للأجر الأسبوعي. فإذا وضعنا في اعتبارنا الظروف المفجعة والمضجرة بالأحرى حيث يعمل الكثير منهم، أصبحت المشروبات الجديدة غير الملوثة بالكائنات المجهرية متوافرة على هيئة شاي وقهوة، وكلاهما منبّهان. وكان يتم استهلاكهما مع اللبن والسكر، ما جعلهما مغذيين أكثر. وهذا جعل من الممكن التوقف عن الاستهلاك اليومي للجعة المخمَّرة في البيت، والتي قامت لمدة طويلة بدور المشروب الآمن وبدور الإمداد بالطاقة. وبينما أصبح الماء المعدني في الزجاجات في أواخر القرن التاسع عشر متاحًا بالفعل كمشروب آمن، تمت إضافة ماء الصنبور والمشروبات الغازية إلى هذه المجموعة في القرنين التاسع عشر والعشرين. تلك كانت كلها حلول صناعية لمشكلة كيفية التصدي لـ «إنتروبيا» التلوث في إمدادات الماء.

وقال عالم الديموجرافيا الإيطالي ماسيمو ليفي-باتشي Massimo Livi-Bacci إن جعل محركات البخار أكثر كفاءة صاحبته زيادة في كفاءة الإنتاج الإنساني. وقد صاغ هذا الأمر كما يلي[75]:

> «خلال القرنين الماضيين، شهد التعداد السكاني الغربي عملية مماثلة. سابقًا، كان يصحب النمو البطيء تبديد ديموجرافي كبير. كان على النساء أن يحملن بنصف دزينة من الأطفال ببساطة للوصول إلى إحلال في الجيل التالي. ويموت ما بين ثلث ونصف هؤلاء المواليد قبل الوصول إلى سن التناسل وإنجاب الذرية. من وجهة نظر ديموجرافية، كانت مجتمعات النظام القديمة غير كفؤة، وللمحافظة على مستوى نمو منخفض، كانت هناك حاجة إلى كمية كبيرة من الوقود (المواليد) لتعويض ضياع كمية ضخمة من الطاقة (وفيات). وكان النظام الديموجرافي القديم لا يتصف فقط بعدم الكفاءة ولكن أيضًا بالفوضى. وكان احتمال انقلاب تراتبية تسلسل الأحداث الطبيعية -أن يموت طفل قبل والديه أو جديه- كبيرة. والمستويات العالية للوفيات والكوارث المتكررة جعلت أي خطط للمدى الطويل، قائمة على بقاء الأفراد، معرَّضة للمصادفة».

باختصار، كانت الكفاءة المتنامية والقابلية للتنبؤ بالنسبة للإنتاج الصناعي متوازية في الحياة الخاصة للناس.

مثل تدجين النباتات والحيوانات، يعتبر التصنيع عملية متقدمة باستمرار تؤدي إلى تباينات هائلة في الطاقة في كلٍ من، وداخل، المجتمعات. وبينما ظهر التعقد الثقافي القومي مرة أخرى في المجتمعات الصناعية الأولى، كان التغير الثقافي حتميًا أيضًا في بقية العالم نتيجة للتصنيع. ومع القرن التاسع عشر، تعززت شبكة البشر العالمية إلى حد أن معارف الابتكارات الأساسية تم نقلها بسرعة. وبعكس ظهور الزراعة وظهور الدول الأولى، وهو ما حدث في سبع مناطق في العالم، تم ابتكار التصنيع مرة واحدة فقط. ويُضاف إلى ذلك، أن تصنيع المجتمع أنتج موجة سريعة من العولمة جعلت من المستحيل بالنسبة للمجتمعات في مكان آخر في العالم أن تبتكر، بشكل مستقل، منتجًا صناعيًا اعتمادًا على الوقود الأحفوري.

لم يستغرق الأمر وقتًا طويلًا قبل أن يتبع المقاولون والحكومات في الكثير من الدول القومية البازغة، في كلٍ من أوربا وخارجها، المثال البريطاني بتأسيس الصناعات الحديثة. كانت تلك بداية انتشار التصنيع على وجه الأرض، وهي عملية لم تكتمل بعد. ومثل الانتقال إلى الثورة الزراعية، يمكن رؤية الثورة الصناعية كسلسلة من الابتكارات الرئيسية التي أدت إلى إشعاع تكيفي ثقافي. وفي الوقت نفسه، شهدت تلك الفترة تدهور الأنواع الأقدم من التعقد، وخاصة الأنواع المحلية من الإنتاج.

وأصبحت كل البلدان التي تم تصنيعها بشكل ناجح ثرية إلى حد لم يكن له نظير في التاريخ البشري. أولًا الصفوة، بالطبع، ثم بعد ذلك أجزاء ضخمة من الجمهور العام. ومن الواضح أن الصفوة الصناعية وجدت أنه من المستحيل المحافظة على مادة جديدة، وطاقة وتعقد لنفسها. كان ذلك جزئيًا نتيجة لحقيقة أن الأعداد المتزايدة من الناس الفقراء بدأوا العيش في المدن، حيث كان هؤلاء الناس يمثلون تهديدًا مباشرًا للطبقات الحاكمة من خلال الإضرابات، وأعمال الشغب وتهديدات الثورة. وشهدت المدن نموًا مذهلًا بعد أن كفل تصنيع الزراعة والنقل إمكانية إطعام التعداد السكاني المدني الضخم بشكل كافٍ، وأتاح لهم تحسينات في الصحة العامة. كل هذا أدى إلى موجات غير مسبوقة من الهجرة من الريف إلى المدينة غذاها الأمل في الحصول على ما يكفي من المادة، والطاقة، وظروف جولديلوكس. ونتيجة لذلك، ظهرت مناطق هائلة مترابطة بالعواصم، وسكن فيها الكثير من الملايين من الناس.

ولأن الموارد الطبيعة الضرورية كانت تتركز في مناطق صغيرة نسبيًا، بدأت عملية «الاحتكار»، حيث يتحكّم في الموارد قلة من اللاعبين الرئيسيين ومجالات الأعمال. وحتى اليوم، يحافظ عدد صغير نسبيًا من شركات الطاقة وأعمال التعدين على السيطرة

على أجزاء كبيرة من هذه الموارد. ونتيجة لذلك، أصبحت هذه الأعمال مربحة إلى حد هائل. وحدثت عملية مماثلة في صناعة وتجارة موجة غير مسبوقة من أنواع جديدة من التعقد، والتي سلم بصحتها الآن الكثير من الناس في البلدان الأكثر ثراء. وتقريبًا أزال إنتاج النسيج الصناعي البريطاني، على سبيل المثال، بالكامل إنتاج الهند من الملابس القطنية. ورغم ذلك ثبت أن الهيمنة على إنتاج وتجارة التعقد المشيد أكثر صعوبة من الوصول إلى موارد طبيعية، ما أدى إلى الموقف الراهن الذي تتراوح فيه هذه الأعمال من المشروعات الصغيرة القائمة على العائلة إلى الشركات الكبيرة متعددة الجنسية.

خلال موجة العولمة الثانية هذه، ازدادت المعارف العلمية والتقنية. وكجزء من التطور، افتتحت مشروعات الأعمال مختبرات لأبحاث وتطوير المنتجات. وبدأت الحكومات أيضًا في تنشيط إنتاج ونشر العلم، وتمويل الجامعات، على سبيل المثال، وتضمين العلم في مقررات المدارس القومية البازغة. ونتيجة ذلك أصبح الناس يعتمدون على العلم الحديث والتقنية على نحو متزايد. ورغم ذلك فحتى اليوم، حتى في البلدان الثرية جدًا، هناك قلة نادرة من الأفراد لديهم وجهة نظر شاملة عن العلم. وهذا نتيجة لحقيقة أن الزيادة السريعة في المعارف العلمية أدت إلى تقسيم العلم إلى عدد كبير من الأفرع العلمية. وتلقى ما يطلق عليه البرنامج الاختزالي أغلب الدعم المالي، بسبب نتائجه المذهلة في الغالب على المدى القصير، بينما كانت تتم إتاحة أي تمويل بعناء للعلماء الذين اختاروا، مثل ألكسندر فون هامبولدت، مقاربة أكثر تأكيدًا على أهمية «الكل».

وكجزء من التنافس المتنامي بين الدول الصناعية الأولى في أوربا، والولايات المتحدة، أسَّست الحكومات مدارس التعليم الإلزامي على النطاق القومي، لخلق قوة عاملة ماهرة ومشاعر تربوية حول التلاحم بتعليم التاريخ القومي والجغرافيا. وأدى ذلك إلى تكوين دول قومية في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، حيث اكتسب الناس هوية «قوميتهم» بالإضافة إلى هويات محلية وإقليمية. ولم تكن هذه العملية جديدة بالكامل، لكنها حدثت بشكل أكثر كثافة من أي وقت من قبل، بفضل الوسائل الجديدة للاتصالات، مثل القطارات والطباعة وبعد ذلك السيارات، والراديو والتلفزيون.

أنتج تصنيع المجتمع اختلافات هائلة في الطاقة عبر كل العالم، خاصة بين البلدان الصناعية والمناطق الأخرى، بل وأيضًا داخل المناطق الصناعية نفسها. وأدى التنافس الشديد بين البلدان الصناعية إلى المزيد من استعمار أجزاء كبيرة من العالم، كانت في

الغالب نتيجة مباشرة أو غير مباشرة للبحث عن موارد طبيعية أو لتغطية احتياجات أسواق للمنتجات الصناعية. بعد أن تم إخضاع أغلب العالم القابل للغزو، تقاتلت البلدان الصناعية بين بعضها بعضًا في «حربين عالميتين» للسيطرة على العالم. وبعد نهاية الحرب العالمية الثانية، ظهرت كتلتان رئيسيتان قويتان، تنافست من أجل السيادة على العالم خلال الحرب الباردة. عزز هذا التنافس العالمي تطور الكثير من أنواع المهارات الصناعية بالإضافة إلى بناء أنواع جديدة كثيرة جدًا من التعقد.

أدى ذلك إلى مستويات غير مسبوقة من الرخاء الاقتصادي في مجتمعات شمال الأطلنطي. وأدى التصنيع إلى المزيد من العلاقات المتساوية بين الجنسين، لأنه من الصعب إيجاد اختلاف من حيث القوة الجسمانية، سيان كان الشخص الذي يضغط على زر آلة أو يقود سيارة رجلًا أو امرأة. وأسهم إلى حد كبير ابتكار طرق أكثر كفاءة بكثير في التحكم في التناسل البشري الجنسي في تقوية هذه النزعة. وكل ذلك سمح للنساء بالدخول في النطاق العام.

كانت تلك هي المرة الأولى في التاريخ البشري التي يصبح خلالها كل سكان الدول القومية موسرين، ليس البالغون فقط ولكن أيضًا الشباب. وأدى هذا التدفق الجديد للطاقة بين المراهقين إلى ظهور ثقافة الشباب بموسيقاها، وأفلامها، وملابسها، وطعامها ووسائل النقل الخاصة بها. ونتيجة لكل هذه الأنواع الجديدة من التعقّد، ظهر ما يُعرف بالفجوة بين الأجيال: انقسام كبير في التذوق الثقافي والعادات بين البالغين وأطفالهم. وعندما أصبح هؤلاء الشاب آباءً وأمهات بدورهم، لم يعودوا يعانون من مثل هذه الفجوة، لأنهم كانوا قد أصبحوا معتادين على هذه الاختلافات (التي استمرت في التغيّر، بالطبع).

نتيجة لنمو شبكات التبادل العالمية، لم تعد المهارات الصناعية محصورة في البلدان التي كانت السبّاقة إلى التصنيع. حدثت كمية كبيرة من النسخ، أدت إلى الانتشار العالمي للمهارات الصناعية. ولقد سمحت الابتكارات الأساسية في تقنية النقل، وخاصة شاحنات نقل البضائع وسفن الحاويات، بالنقل الرخيص لكميات كبيرة جدًا من التعقد المشيد حول كل العالم. ونتيجة لذلك، تم إنتاج الكثير جدًا من المنتجات حيث التكاليف الأكثر انخفاضًا في الوقت الراهن. وأدى ذلك إلى انتشار عالمي للصناعة بالإضافة إلى انخفاض مصاحب في التصنيع في الكثير من المناطق التي تم تصنيعها في الأصل في مجتمعات شمال الأطلنطي.

أنتجت هذه التطورات تقسيمًا عالميًا غير مسبوق في العلم، وبذلك أنتجت تعقدًا عالميًا متناميًا، على حساب التعقد المحلي والإقليمي. وعلى الرغم من فقد أغلب قدرتها الصناعية، كانت الدول الصناعية الأولى قد نجحت في أن تظل قوية بالأحرى حتى اليوم، ليس أقل سبب في ذلك أنه كان في استطاعتها المحافظة على السيطرة على عملياتها الإنتاجية في مكان آخر. ولأن العمال الصناعيين الفقراء يعيشون في الغالب بعيدًا عن المراكز الرئيسية للشركات الدولية الكبيرة في الوقت الراهن، فإن قادتهم في مجال الأعمال يواجهون القليل من التهديدات نسبيًا من قوّتهم العاملة. وطالما كانت هناك أعداد كبيرة من الناس الفقراء في مكان آخر قادرين على القيام بمثل هذه الوظائف مقابل مكافأة صغيرة، فإن مجرد اقتراح نقل الإنتاج إلى أماكن أخرى يعتبر غالبًا فاعلًا بما فيه الكفاية للمحافظة على القوة العاملة مفيدة. ويسمح هذا الموقف للمقاولين الدوليين بالبقاء أثرياء ثراءً فاحشًا.

في آسيا، حدثت هذه التطورات في أماكن مثل كوريا الجنوبية، وسنغافورة، وهونج كونج، وتايوان، وماليزيا والفلبين، وإندونيسيا والصين. ورغم ذلك يتحداهم بشكل متزايد قادمون جدد، وخاصة في المناطق التي تكون فيها تكاليف الإنتاج والمهارات الضرورية متاحة. وفي الوقت نفسه، أنتج التصنيع المزيد من الثروة في البلدان حديثة التصنيع، ما عزّز العملية الديمقراطية. ولقد أدت الموجة الجديدة في عولمة الاقتصاد إلى قلق متزايد بين بعض أعداد من البلدان الغنية حول أحوال المعيشية غير المتكافئة في كل أنحاء العالم. ويتم غالبًا تلخيص هذه الاحتجاجات بمصطلح «ضد العولمة».

المعلوماتية: الموجة الثالثة للعولمة

تم تعزيز كل هذه التطورات إلى حد كبير بواسطة الثورة الحالية في مجال تقنية المعلومات. ولقد شهدت ال 60 سنة الأخيرة ظهور القدرة على معالجة كميات غير مسبوقة من البيانات الإلكترونية بمساعدة حاسبات مرتبطة غالبًا بأسلاك الهاتف أو وصلات قمر اصطناعي. ومن الواضح، أن تكاليف هذه الأنواع الجديدة من التعقد لا تتجاوز منافعها.

بدأت هذه التطورات في القرن الثامن عشر، بعد اكتمال وضع أول كابل تلغراف عبر المحيط الأطلنطي في 1866. وفي الوقت نفسه تم وضع وصلة تلغراف عابرة للقارة في الولايات المتحدة. وتلك كانت بداية توسع سريع. وبالفعل في عام 1903، أصبحت

أجزاء كبيرة من العالم مرتبطة من خلال كابلات عابرة للقارات. ورغم أنه بمعايير اليوم كانت قدرتها على نقل البيانات منخفضة جدًا، فإن ظهور الشبكة الإلكترونية الدولية كان تطورًا ثوريًا في ذلك الوقت، وهو ما جعل المزيد من الاتصالات الأسرع أمرًا ممكنًا فجأة. وظلت هذه الشبكات تتوسع خلال القرن العشرين. وكان ابتكار الهاتف بشكل خاص قد ساعد على تحسين الاتصال عبر العالم كله، بينما ظلت تقنية نقل البيانات الدولية في تطور مستمر أيضًا، وخاصة من خلال الألياف الضوئية الزجاجية وبمساعدة الأقمار الاصطناعية للاتصالات.

جاء أكبر تطور لاحق في الاتصال نتيجة لظهور الحاسبات، والتي تشكل، من حيث الجوهر، تعقدًا مشيدًا يتعامل مع البيانات. ولقد سمح ذلك للحاسبات بالسيطرة على العمليات الخارجية. وبينما حلّت الآلات التي تعمل بالوقود الأحفوري محل الطاقة العضلية للإنسان والحيوان، بدأت الحاسبات في تولّي أمر الوظائف التي تقوم بها الأمخاخ البشرية. كانت أولى الحاسبات في أربعينات وخمسينات القرن العشرين ضخمة جدًا. وكانت تعمل بمساعدة الكثير من الصمامات المفرغة، والتي كانت تُصاب بالعطب في الغالب، بينما كانت الوصلات تتم بالإدخال اليدوي في الأسلاك الكهربائية. وبمعايير اليوم، فإنها تستخدم كمية كبيرة من المادة والطاقة لإنتاج تعقد قليل نسبيًا. وتعمل الأنواع الأحدث من تقنية البيانات، على العكس، على حاسبات رقمية سريعة وصغيرة. وكانت هذه التقنية اشتقاقًا مباشرًا من مشروع أبولو الأمريكي للسفر إلى القمر خلال ستينات القرن العشرين[76].

عندما أصبحت الحاسبات الرقمية مرتبطة بالشبكة الإلكترونية العالمية في ثمانينات القرن العشرين، انطلقت ثورة اتصالات جديدة. والإنترنت، في الحقيقة، هي المكافئ الإلكتروني لحاويات الشحن على السفن، لأن كليهما ينقل أنواعًا من التعقد المشيد عبر العالم بتكاليف منخفضة. وبفضل ثورة المعلومات، نشهد الآن انفجارًا جديدًا للمعلومات المتراكمة والمخزّنة، بالإضافة إلى استخدامها لكلٍ من المعلومات والمعلومات المضلِّلة. وبالتالي، تتسارع عملية التعلم الجماعي من جديد، بينما يتباطأ النسيان الجماعي[77].

وفي الوقت الراهن، يمكن لأي شخص لديه وصلة حاسب أن يتبادل المعلومات مع الآخرين حول العالم بإرسال رسالة أو وضعها على الخط. ولقد أنتج ذلك تغيرًا حادًا في طرق تلقي الناس للمعلومات حول كل شيء تقريبًا. ونتيجة لذلك، تتغير توازنات

الطاقة والاعتماد المتبادل بسرعة. على رجال السياسة والأطباء، على سبيل المثال، التكيف مع زبائن أكثر قدرة بكثير على الحصول على المعلومات. هذان مثالان فحسب عن التغير الاجتماعي العالمي الناتج عن تدفقات طاقة جديدة تغير التعقد الاجتماعي.

ولقد أدى ظهور تقنية البيانات الجديدة إلى نموٍّ للكثير جدًا من الصناعات الخدمية في البلدان التي تم تصنيعها في البداية. وحتى الآن، سمح هذا التصدر لهذه البلدان بأن تتصدّر المنافسة وتحافظ على مستويات معيشة مرتفعة نسبيًا. ورغم ذلك فخلال الـ 20 سنة الماضية، كانت هذه المهارات تنتقل أيضًا عبر الكرة الأرضية إلى حيث يمكن استغلالها بشكل مربح، لأن نقل البيانات العالمي أصبح سريعًا، ومنخفض التكاليف ويمكن الاعتماد عليه.

يمكن تلخيص كل هذه التطورات باعتبارها الموجة الثالثة في العولمة. وحدث خلال هذه الفترة فقط أن تمت صياغة كلمة «العولمة» بالفعل. وفي الوقت الراهن، تتصل أعداد هائلة من الناس حول العالم. ولقد أنتج هذا شبكة ثقافية عالمية أكثر تعقدًا غير مسبوقة. ورغم أن هذا التطور قد أنتج تقاربًا ثقافيًا كبيرًا، لا يزال هناك اختلاف كبير في الأحوال المعيشية، والمهارات ووجهات النظر الشاملة حول العالم.

نتيجة لعولمة الرأسمالية، تنتقل كميات غير مسبوقة من الأموال حول العالم بشكل إلكتروني إلى أماكن حيث من المتوقع أن تكون الأرباح أكبر. ولقد سمح ذلك لصناعة البنوك، التي تتحكم بهذه الحركات، أن تصبح ثرية جدًا وذات نفوذ. ويضاف إلى ذلك، أن البلدان التي تم تصنيعها أولًا تدعم العملات التي كانت، حتى الآن، مستقرة نسبيًا ويمكن الاعتماد عليها. وخلال العقدين الماضيين، وخاصة بالنسبة للدولار الأمريكي واليورو، تم استخدامهما من قبل الحكومات والأفراد في مكان آخر من أجل التوفير ومن أجل تدبير الكثير جدًا من المعاملات التجارية. ولقد أسهم هذا الموقف بشكل كبير في الثروة الحالية في بلدان شمال الأطلنطي، وسوف يستمر طالما كانت البلدان الأخرى راغبة في شراء الدولار واليورو (والذي لا يكلِّف شيئًا تقريبًا لكي يتم) في مقابل الموارد الطبيعية، والمنتجات الصناعية والخدمات.

في الكثير من الديمقراطيات الغنية، تحطَّمت الرابطة السابقة بين الدولة والكنيسة، رغم أنها لم تختفِ بعد. ولقد أدى هذا التفكك بين الدولة والكنيسة إلى خصخصة الدين. ونتيجة لذلك، أصبح الكثير من هذه الأديان الآن أكثر تناغمًا مع الاحتياجات

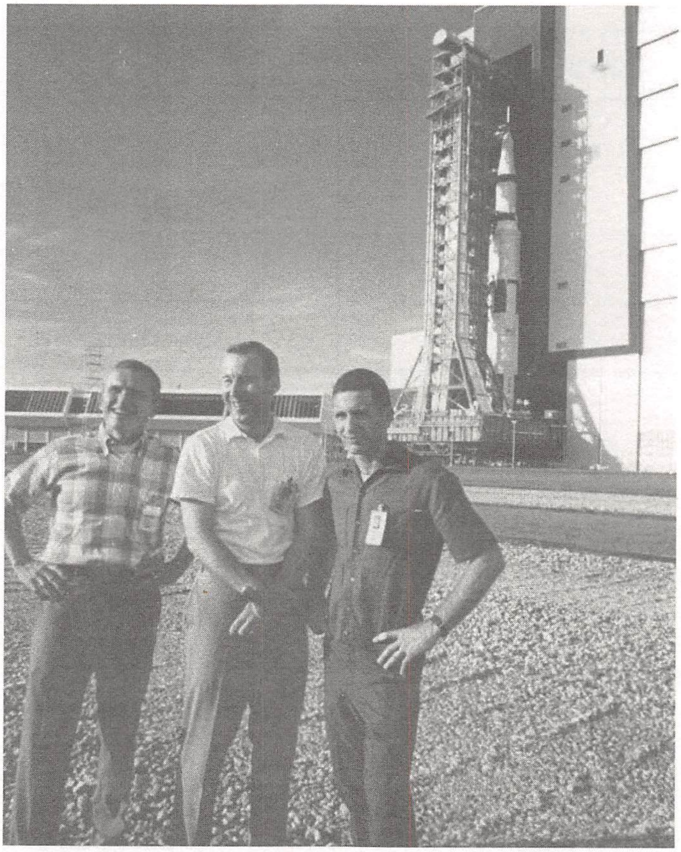
المحلية أو الإقليمية للمشاعر الدينية، بينما انخفضت إلى حد كبير الممارسة الدينية التي تضع القيود على السلوك. ومع ذلك، لم تتحلَّل بعد، في أجزاء كثيرة من العالم، الرابطة بين الدولة والكنيسة، إلى حد مماثل، حتى رغم أن بعضًا من هذه البلدان أصبحت ذات ثراء فاحش نتيجة للموارد الطبيعية التي تبيعها إلى بقية العالم. وهذه نتيجة مباشرة للإنتاج والاستهلاك المتناميين للتعقد المشيد في كل العالم، وهو ما يعزز نمو التنافس الدولي على الموارد الطبيعية.

ورغم كل هذه التطورات، فحتى اليوم هناك أعداد كبيرة جدًا من الناس الفقراء يعيشون في بلدان أقل تصنيعًا لا تزال تعمل على أساس زراعي. ولأنهم يحصلون على المعلومات من خلال أخبار وسائل الإعلام حول أحوال معيشية أفضل في مكان آخر، وبسبب وجود مرافق نقل غير مسبوقة، أدى هذا إلى مستويات مرتفعة إلى حد كبير من الهجرة العالمية. ويبحث معظم هؤلاء المهاجرين الفقراء عن الذهاب إلى أي مكان حيث من المفترض أن الحصول على المادة والطاقة أفضل ما يكون. وليست هذه التطورات جديدة، ورغم ذلك فإنها تحدث الآن على مقياس أكبر مما حدث من قبل في أي وقت.

كل هذه التطورات السابقة تعزِّز الشعور بعدم القبول بين كلٍّ من الأغنياء والفقراء. ويتم التعبير في الغالب عن هذه المشاعر بأنواع جديدة من الهوس الديني، بما في ذلك الأصولية الإسلامية، والتبشير الأمريكي بالدين عن طريق التلفزيون، وأنماط البوذية الخاصة بأمريكا الشمالية. ونتيجة لذلك، تم خلال العقدين الماضيين افتتاح ساحة سوق دينية دولية تقوم بإرضاء الكثير جدًا من الاحتياجات الدينية المختلفة. ولقد سمح ذلك للكثير جدًا من الأديان الأصغر بالانتشار عالميًا طالما ترضي الاحتياجات الموجودة في مكان آخر. وحتى الدين الأنديزي التقليدي المحلي، على سبيل المثال، يعاد سبكه حديثًا على هيئة مفردات لغة تخاطب الاحتياجات المحلية الحديثة ولذلك تمت عولمته. هذا مثال واحد فحسب لظواهر الدين الدولي في الوقت الراهن[78].

في عام 1961، كرد فعل لرحلات الطيران السوفييتية الرائدة، بادر رئيس الولايات المتحدة جون ف. كينيدي بمشروع أبولو للقمر كطريقة لاستعادة الثقة الدولية في التفوق التقني الأمريكي. ولأول مرة في التاريخ، سمح ذلك لكائنات حية من الأرض بالسفر إلى أقرب جيراننا السماويين والعودة بأمان إلى الأرض، كما هو موضَّح في الشكل (7-1). ومما لم يتوقعه معظم الناس، أنتج مشروع أبولو مظهرًا جديدًا للأرض على هيئة صور فوتوغرافية، مثل صورة بزوغ الأرض، والتي عزَّزت إلى حد كبير فكرة

«مركبة الأرض الفضائية» الهشة. وأتاحت هذه الصور الفوتوغرافية حافزًا قويًا لكل من الحركة البيئية الوليدة والظهور الجديد لمقاربات علمية تؤكد على أهمية «الكل»، مثل الانفجار الكبير في علم الكون، وتكتونية الصفائح في نظرية جايا للافلوك، وكلها جعلت من الممكن تقديم التركيب الراهن للتاريخ الكبير[79].



الشكل (7-1): التوسع المذهل للسيطرة البشرية على المادة والطاقة خلال القرن العشرين: رواد الفضاء الثمانية لأبولو خلال إعداد صاروخ ساترن 5، الذي سيحملهم إلى مدار القمر ويعود بهم، خريف 1968. (المصدر: ناسا)

الطاقة والتعقد وظروف جولديلوكس

في الوقت الراهن، هناك نطاق واسع من استخدام الطاقة لكل فرد حول العالم.

وتقدم وكالة الطاقة الدولية أرقامًا لاستهلاك الطاقة في أغلب البلدان، وهو ما يضع أطنانًا من مكافئ النفط لكل شخص. ومن تقريرهم «إحصاءات مهمة عن الطاقة في العالم 2007»، توجد بضعة بيانات مختارة[80] في الجدول (7-1).

الجدول (7-1): استهلاك الطاقة في العالم في 2007

	استهلاك الطاقة بالواط لكل فرد
العالم	2400
بنجلاديش	230
هولندا	6650
الولايات المتحدة	10500
قطر	25900

الجدول (7-2): استهلاك الطاقة في التاريخ البشري

	استهلاك الطاقة بالواط لكل فرد
الإنسان الصياد	200
الإنسان البدائي الزراعي	480
الإنسان الزراعي المتقدم	1040
الإنسان الصناعي	3080
الإنسان التقني	9200

(Cook (1971), p. 136)

في الجدول (7-2)، تم تلخيص البيانات المبدئية لإيرل كوك Earl Cook حول استخدام الطاقة في التاريخ البشري (المفردات في هذا الجدول استخدمها كوك).

في كلا الجدولين، تعتبر الأرقام في المجتمعات الصناعية متماثلة إلى حد معقول. ومن الواضح أن كوك يعني بمصطلح «الإنسان التقني» سكان الولايات المتحدة. ومن

المثير للاهتمام، أنه تم في الولايات المتحدة في العام 1971 استهلاك طاقة أقل بقليل فقط لكل فرد مقارنة بما يحدث الآن، حتى رغم أنها فقدت جزءًا أساسيًا من إنتاجها الصناعي المتعطِّش للطاقة منذ ذلك الوقت. والاتفاق بين الأعداد الأخرى مشكوك فيه أكثر ولو بعض الشيء. وربما يعود ذلك إلى صعوبات تقدير استخدام الطاقة في المجتمعات القديمة أو بلدان مثل بنجلاديش، حيث لا يمكن للكثير من الناس الحصول على الوقود الأحفوري، بينما لم يتم الانتباه إلى الأنواع الأخرى من استخدام الطاقة. ومن الواضح، أن معظم هذه الأرقام تقديرية وتقدم، في أحسن الأحوال، مؤشرًا تقريبيًا لقيمة استعمال الطاقة.

لو أن هذه الأرقام صحيحة إلى حد معقول (وتذكَّر: إن هذه الأرقام لا تتضمن استخدام النار بواسطة الجامعين الصيادين والمزارعين)، لعله كان هناك ارتفاع في استخدام الطاقة لكل فرد من 80 واط لكل فرد بواسطة البشر الأوائل قل تحكمهم في النار إلى نحو2400 واط لكل فرد في المجتمع البشري المعاصر في مجمله، بينما تستهلك بلدان مثل الولايات المتحدة نحو 10000 واط لكل فرد. وهذا يعني أن استخدام الطاقة لكل فرد قد تضاعف بنحو 30 مرة خلال التاريخ البشري. ورغم ذلك فإن التدفق الإجمالي للطاقة الذي تعامل معه البشر ارتفع كثيرًا، لأن التعداد البشري في مجمله ارتفع من بضعة آلاف من الناس إلى أكثر من 6 مليارات فرد الآن. ويمثل ذلك ارتفاعًا بعامل 1 مليون. وإجمالي الطاقة التي حصل عليها البشر خلال تاريخهم لا بد أنها زادت، من ثم، بعامل نحو 30 مليون.

الجدول (7-3): بضع كثافات طاقة مختارة

	كثافة الطاقة بالواط/ كج
النجوم	0,0002
النباتات	0,09
الجسم الإنساني	2
المخ الإنساني	15

الطاحونة الهوائية الهولندية التقليدية	0,15
الطاحونة الهوائية الألمانية الحديثة	2
المكنسة الكهربائية	180
المحرك النفاث بوينج 747	2000
محرك مكوك فضائي	2120000

كما تم شرحه في الفصل الثاني، وصلت أنواع التعقد المشيد التي تعمل بالوقود الأحفوري إلى كثافات طاقة تتجاوز أي شيء آخر في الكون المعروف. في الجدول (7-3)، تم تلخيص بعض من هذه الأرقام[81].

تقدم هذه الأرقام بعض التبصر حول الطاقة التي كان في استطاعة البشر إطلاقها من الطبيعة لأغراضهم الخاصة بمساعدة الوقود الأحفوري. بالطبع، يجب تفسير هذه الأرقام باعتبارها تقديرًا تقريبيًا. وأية محاولة لحساب أرقام أكثر منهاجية وصفاء قد تأتي فقط نتيجة برنامج أبحاث مكثفة بين الأفرع العلمية.

حتى اليوم، كانت ظروف جولديلوكس بالنسبة للإنتاج الصناعي مقيدة أكثر من الزراعة والعناية بالحيوان. ظهرت المجتمعات الصناعية في مناطق معتدلة بدرجات حرارة تتراوح عادة بين - 20 درجة مئوية و+ 35 درجة مئوية. ويقترب ضغط الهواء عادة من 1000 هكتوباسكال (مستوى البحر)، بينما كان هناك دائمًا إمداد بالماء وفير على مدار العام. ولقد انتقل الإنتاج الصناعي إلى أماكن حيث درجات الحرارة مرتفعة إلى حد كبير في الغالب، لكن الأحوال الأخرى لم تتغير بدرجة كبيرة. وحتى اليوم، على سبيل المثال، هناك قلة قليلة من الصناعات في مناطق الجبال العالية أو المناطق التي ينقصها ما يكفي من الماء. ومن الواضح، أن انتشار الإنتاج الصناعي عبر العالم كان محدودًا إلى حد كبير مقارنة بانتشار الزراعة ورعاية الحيوانات، والتي، بدورها، كانت محدودة أكثر من الجمع والصيد. لذلك، بالمخاطرة بالقول السابق، فإنه بعكس الجمع والصيد وتدجين النباتات والحيوانات، لم يتم حتى الآن نشر الإنتاج الصناعي عبر البحار والمحيطات في العالم كله.

في الوقت نفسه، سمح التصنيع للبشر بالحياة في نطاق واسع من الأحوال الجغرافية،

وذلك بفضل حقيقة أن نوعنا أصبح أكثر مهارة في خلق بيئات جولديلوكس لنفسه. وبشكل خاص خلال القرن العشرين، بدأ الناس في خلق نطاق توسع غير مسبوق من المناخات المحلية. ليس فقط لأن أعدادًا متزايدة من المباني تمت تدفئتها خلال الفصول الباردة، لكن أيضًا ببناء أبنية الزراعة الزجاجية لزراعة النباتات. كانت الخطوة التالية هي خلق مناخات محلية خلال الفصول الحارة. وتضمَّن ذلك مناطق التخزين، وعربات السكك الحديدية، وعربات الشحن وسفن الشحن التي تم تبريدها، والتي جعلت من الممكن إنتاج ونقل اللحوم والمواد الغذائية الأخرى القابلة للتلف، على مقياس كبير. وتم بعدئذ تبريد المنازل، والمكاتب، والسيارات، والمصانع والمراكز التجارية للتسوق، للحصول على الراحة خلال الفصول الحارة. وكان تبريد وتدفئة المناخات المحلية لأنشطة الترفيه هي الخطوة التالية، والتي تضمَّنت حلبات الثلج الاصطناعي، ومنحدرات التزلج وأحواض السباحة الاستوائية (وليس هذا من المثير للدهشة إلى حد كبير، لأننا لا نزال حيوانات استوائية). وأدى استكشاف الفضاء إلى تطور مناخات محلية على هيئة سفن فضاء وبذلات فضائية، بينما احتاجت المغامرات في البحر العميق إلى تطوير غواصات وبذلات غوص. ولم يحدث من قبل أبدًا أن نوعًا من الكائنات قد ابتكر مثل هذا التنوع الهائل من ظروف جولديلوكس[82].

التصنيع جعل من الممكن تغذية السكان بكميات غير مسبوقة من المواد الغذائية المتنوعة. وخاصة في المجتمعات حيث أصبح قطاع الخدمات هو السائد، أدى أغلب الناس أعمالًا يدوية أقل مما حدث من قبل في أي وقت. ونتيجة لكلا التطورين، أصبح هؤلاء الناس أكثر وزنًا في المتوسط مما كان في أي وقت مضى. وليس من الواضح حتى الآن ما ستكون عليه الحدود القصوى للمادة والطاقة التي سيكون في استطاعة الناس هضمها كل يوم، لكن في البلدان الثرية يبدو أن أعدادًا هائلة من البشر يقومون بمحاولات حثيثة للوصول إليها. وفي أجزاء أخرى من العالَم، على العكس، لا تزال أعداد كبيرة من الناس يكافحون ضد المشكلة العكسية، أي كيفية الحصول على ما يكفي من المادة والطاقة على نحو يومي للمحافظة على استمرار تعقدهم.

لقد أصبحت المجتمعات الصناعية أكثر قوة، ومع ذلك أكثر تعرضًا للأخطار أيضًا. فقد يسبب العطل الناتج عن النظم الإلكترونية المتشابكة، على سبيل المثال، التي تُعتمد مساعدتها الآن، فوضى عامة. وقد تحدث مثل هذه الكوارث نتيجة لأحداث

كونية. في تقرير تم نشره في 2008، أشارت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا إلى أن وهجًا شمسيًا خطيرًا مثل ذلك الذي حدث في عام 1859، قد يدمِّر شبكات الكهرباء على مقياس عالمي. وقد يسبب ذلك دمارًا واسعًا يحتاج إلى أشهر لإصلاحه. وتقريبًا لا حاجة للقول، بأن ذلك قد يؤدي إلى فوضى مجتمعية كارثية[83]. ورغم ذلك، وحتى بشكل جاد أكثر، فإن المجتمعات الصناعية الراهنة تعتمد أكثر بكثير على المخزونات المتضائلة للموارد الطبيعية، وخاصة الوقود الأحفوري. والاستخدام واسع النطاق للوقود الأحفوري جعل من الممكن حتى الآن وجود مستويات لا يمكن تخيلها من التعقد الاجتماعي العالمي على حساب تدهور الأنواع الأقدم من التعقد المحلي والإقليمي. ويدور الناس، والمادة، والطاقة والمعلومات حول العالم بطرق غير مسبوقة اليوم. وكجزء من هذه العملية، فإن كلًا من ظروف جولديلوكس الاجتماعية البيئية التي ابتكرها البشر تضاعفت، بينما أغلب أنواع الحياة التي لا يتم التحكم فيها مباشرة بواسطة البشر لأغراض إنتاجية تتقلص أعدادها بسرعة.

أدى ذلك إلى كميات متزايدة من الإنتروبيا المادية على سطح الأرض على هيئة منتجات عادم. رغم أن البشر ينتجون تأثير صوبة زجاجية معزَّز نتيجة لذلك، فإن معظم الحرارة المتولدة يمكن أن تستمر في أن تشعّ إلى الخارج على هيئة وعاء نفاية إنتروبيا كوني. وفي واقع الأمر فإن كل بقايا النشاط المادي البشري سيبقى، مع ذلك، بالضرورة على هذا الكوكب. في أغلب تاريخها، اعتمدت البشرية على نظام تدبير أمر العادم البيولوجي الطبيعي للتخلص من النفاية. وخاصة منذ الثورة الصناعية. لكن رغم ذلك، لم يكن من السهل إعادة تدوير الكثير جدًا من المواد بواسطة البيولوجيا الأرضية. وفي الوقت الراهن، يتضمن ذلك نحو 75 ألف مادة كيميائية اصطناعية، لها غالبًا تأثيرات مجهولة على صحة الإنسان، والحيوان والنبات[84]. ويتساءل المرء، من ثم، حول ما إذا كان البشر سوف يستطيعون ابتكار نظام إعادة تدوير نفاية فاعل، وإذا لم يستطيعوا ذلك، ما النتائج التي ستحدث. وفي صياغة بنظرية جايا للافلوك، يتساءل المرء حول ما إذا كانت جايا سوف تستأصل (بشكل غير عشوائي) الجنس البشري لأنها قد تقوِّض ظروف جولديلوكس الخاصة بهم.

في ثلاثينات وأربعينات القرن العشرين، بدأ علماء في مختلف أجزاء العالم استكشاف العمليات النووية، لأنهم ظنوا أن كمية ضخمة لا يمكن تخيلها حتى الآن

من مصادر الطاقة يمكن الحصول عليها. وأوضحت أولى القنابل النووية، وبعد ذلك أنواعًا أكثر سلمية من الطاقة النووية، أنهم كانوا على حق. ومع ذلك، فإن الطاقة التي يمكن تحريرها بواسطة الانشطار النووي تأتي من ركام حصالة صغيرة محدودة، بالأحرى من اليورانيوم على الأرض. ولعل هذا اليورانيوم يعود إلى حادث سوبرنوفا شكّل مجموعتنا الشمسية ويعود بالتالي إلى أصل جيراننا الكونيين. والطاقة الناتجة عن اندماج الهيدروجين يتم تخزينها، على العكس، في حصالة صغيرة مماثلة، رغم أنها أكثر ضخامة، من الهيدروجين والديوتريوم (الهيدروجين الثقيل)، والتي تعود مباشرة إلى ما بعد الانفجار الكبير. وفي الوقت الراهن، فإن المشكلة الأكبر مع الاندماج النووي تحت السيطرة هي مشكلة كيفية بناء ظروف جولديلوكس يمكنها أن تحتوي على هذه العملية بينما تسمح بالحصول المستمر على ما يكفي من الطاقة. لو أن العلماء والمهندسين استطاعوا العثور على طرق لفعل ذلك بنجاح، قد تكون هناك كمية كبيرة من الطاقة متاحة في المستقبل. وحتى اليوم، مع ذلك، فإن جزءًا كبيرًا من الطاقة المتحررة في الانشطار النووي، وخاصة بالاندماج النووي، تم استخدامها بشكل مدمّر.

بينما شهدت المجتمعات البشرية نزعة نحو تعقّد أكبر، فإن المحيط الحيوي في مجمله شهد نزعة نحو تبسيط أكبر نتيجة للنشاط البشري. ونتيجة لذلك، تضاعف عدد صغير نسبيًا من الأنواع المفضلة بواسطة البشر أبعد مما وصلت إليه من قبل، بينما تدهور معظم الأنواع الأخرى، خاصة تلك التي لديها أجسام كبيرة، إما نتيجة لتدمير تعقدها أو نتيجة لتقلص المأوى والإبادة. وبالتالي، لعل التطور البيولوجي يشهد الآن انقراضه العام الرئيسي السادس منذ الانفجار الكمبري لأنواع الحياة[85].

في ما يخص التطور البيولوجي، يبدو أن ما يقود التطور البشري هو التنافس على المادة والطاقة. مع كل تحول رئيسي بيئي واجتماعي، تطورت فوارق في استخدام المادة والطاقة نتيجة لحقيقة أن الرواد تمتعوا بالتصدر. ورغم ذلك مع انتشار المهارات، مالت هذه الفوارق للاستواء.

من الصعب إثبات صحة تقديرات حول الزيادة المحتملة في كفاءة استخدام البشر للمادة والطاقة. إذا حكمنا بالأمثلة التقنية الحديثة، مثل طواحين الهواء، ومحركات البخار، ومحركات البنزين والحاسبات، قد يكون هناك دافعٌ نحو كفاءة أكبر طالما كان من المفترض أن تنتج عنها ميزة تنافسية. في أزمنة حديثة جدًا، بدأ بعض الناس في حفظ

المادة والطاقة بعيدًا عن الاهتمام البيئي. وقد يحدث على المدى الطويل، أن يتصف التاريخ البشري بعملية كفاءة متزايدة.

من الواضح، أننا نعيش الآن في أزمنة غير مسبوقة. لم يحدث أبدًا في تاريخ الأرض أن حدَّد نوع مفرد واحد ظروف جولديلوكس البيئية والاجتماعية الخاصة به إلى هذا الحد البعيد بينما يستخدم كميات غير مسبوقة من المادة والطاقة لبناء نطاق بلا حدود تقريبًا من التعقد. ولا يثير الدهشة، من ثم، أن الكثير من الناس يتساءلون حول ما سيحدث في المستقبل القريب لكلٍ من الإنسانية والأرض.

الفصل الثامن

مواجهة المستقبل

مقدمة

لو أن ظهور واندثار التعقد أتي نتيجة تدفقات الطاقة خلال المادة في حدود جولديلوكس معينة خلال مجمل الماضي، فقد يكون من المعقول توقُّع أنه هكذا سيكون الأمر في المستقبل أيضًا. وسوف تقوم السيناريوهات التي أتصورها حول ما قد يحدث على هذه المقاربة. ومع ذلك، قبل الشروع في هذه الرحلة أود أن أناقش بضع جوانب عامة حول فن التنبؤ بالمستقبل.

بادئ ذي بدء، ليست لدينا أية بيانات حول المستقبل. ومن وجهة نظر تجريبية علمية، من المستحيل قول أي شيء عمَّا يوجد أمامنا. وفي الوقت نفسه، تعتبر كل الجهود البشرية موجهة بالضرورة نحو المستقبل، لأن كل أنشطتنا موجهة بواسطة التطلع إلى نتائج متوقعة. لذلك، رغم عدم إمكانية الاعتماد على مثل هذا التنبؤ، يهتم كل شخص تقريبًا بما سيحمله المستقبل.

ولأن علم المستقبل علم من دون بيانات، فإن أفضل صورة علمية عن المستقبل يمكننا تأملها تتكون من سيناريوهات مقبولة. وهذا يتضمَّن فرصًا تكون خيارات التطور من خلالها هي المرجَّحة الحدوث. وعندما نفعل ذلك، تكون المعلومات الشاملة عن الماضي غير ضرورية. في الماضي، لم يكن المستقبل أبدًا غير مرتبط بالكامل بما حدث من قبل، لذلك فإن النزعات الرئيسية التي يمكن رؤيتها اليوم من المرجح أكثر

أن تستمر في المستقبل. على سبيل المثال، قد نتنبأ بفرصة معقولة للنجاح إذا قلنا إن الشمس ستشرق غدًا.

بينما نضع سيناريوهات عن المستقبل، يجب أن نضع في اعتبار أنه ليست هناك نزعات مستقرة بالكامل. في الواقع، يجب إدراك أنواع مختلفة من التغير. بعض التغيرات لها طبيعة دورية تقريبًا، لأنها مرتبطة في الغالب بالدورات الكونية. إيقاعات النهار والليل، بالإضافة إلى تغير الفصول، تقدم أمثلة أساسية للتغير الدوري (رغم أن هناك دائمًا بعض التغير في الدورات نفسها، أيضًا). بالإضافة إلى ذلك، هناك أنواع من التغير غير الدوري. وحتى الآن، على سبيل المثال، قد يكون من الحكمة تجهيز أنفسنا للاستنزاف القادم للوقود الأحفوري وتأثيرات تغير المناخ الناتجة عن النشاط الإنساني. وعلى أساس هذه التبصُّرات العلمية، قد نستطيع إنشاء مسار زمني لهذه العمليات.

بالإضافة إلى النزعات المعروفة، يوجد تصنيف للنزعات يمكن وصفه بـ «مجهولات معروفة». وهذا يتضمن، على سبيل المثال، الظهور المحتمل لأمراض معدية جديدة، وزلازل وانفجارات بركانية، ووهج شمسي عنيف واصطدام بالنيازك أو ربما حتى انفجار سوبرنوفا قريب. وأيضًا يقع الاستغلال المحتمل للانشطار النووي باعتباره مصدر طاقة مهمًا في هذا التصنيف. يمكن وصف هذه التطورات باعتبارها عمليات غير خطّية، حيث قد تسبب الأحداث الصغيرة اليوم تأثيرات كبيرة في مكان ما من المستقبل. ونحن نعرف أن هذه الأمور يمكن أن تحدث، ورغم ذلك لا نعرف متى وكيف ستحدث، إذا حدثت على أي حال، أو ما ستكون تأثيراتها.

أخيرًا، هناك تصنيف «المجهولات المجهولة» أي الأحداث التي يكون فيها حتى الاحتمال مجهولًا تمامًا، والتي تكون، من ثم، غير متوقعة تمامًا. ومع ذلك، قد يكون لهذه الأحداث تأثير كبير في مكان ما في المستقبل. وتقدم الثورة الصناعية مثالًا لمثل هذا التطور. فحتى خلال القرن السابع عشر، كانت هناك قلة من الناس، لو كانت موجودة، تنبأت بأنه خلال بضع مئات من السنوات، قد تعمل المجتمعات بمساعدة الآلات التي تعمل بالوقود الأحفوري. وبالمثل، قد يبتكر البشر طرقًا للحصول على الطاقة غير المعروفة لدينا تمامًا الآن. ولأن هذه التطورات مجهولة تمامًا، لا يمكننا تضمينها في سيناريوهات المستقبل، لكن يجب التفكير في احتمال حدوثها عندما نقدم تنبؤاتنا عن المستقبل.

يُضاف إلى ذلك، قد يسبب رد الفعل البشري تجاه سيناريوهات المستقبل دورات ارتجاع متكرِّرة، قد تغيِّر النتيجة المتوقعة. على سبيل المثال، هل سيستطيع البشر تجهيز نظام يحد من مستويات الانبعاث المتوقَّع لثاني أكسيد الكربون إلى ما يعتبر مستويات آمنة؟ هل سيستطيع البشر الحصول على ما يكفي من الطاقة الجديدة قبل انتهاء الوقود الأحفوري؟ من الصعب التنبؤ بمثل هذه الاحتمالات. ومن المحتمل أيضًا أن النشاط البشري غير المتكهَّن به قد يغيِّر الأحداث، وأيضًا قد تظهر مشاكل غير متكهَّن بها نتيجة لتدخل بشري. كل ذلك يُضاف إلى مصاعب التنبؤ بمستقبل البشرية.

في كل سيناريوهات المستقبل، تبرز نقطة أساسية واحدة. البشر في غالب الأحيان مهتمون بجوانب المستقبل التي يشعرون بعدم اليقين تجاهها. وبينما لن يدفع أي شخص مالًا لمَن يتنبأ بأن الشمس ستشرق غدًا، فإن معظم الناس يرغبون في الدفع لاختصاصيين يمكنهم أن يخبروهم بما سيكون عليه الطقس غدًا، لأن هذا نوع من المعلومات يمكن أن تكون له أهمية كبيرة للخطط التي يضعها البشر لنشاط المستقبل. بينما أصبح التنبؤ بالطقس أكثر دقة بكثير خلال العقود الماضية، لا تزال هنالك مناطق كثيرة من الحياة يبدو مستقبلها غير مؤكد، مثل الحالة الراهنة للاقتصاد العالمي، الذي يعزِّز إنتاج تنبؤات كثيرة من أنواع مختلفة.

خلال معظم، إن لم يكن كل، التاريخ البشري، عمل اختصاصيون على الزعم بأن لديهم مدخلًا خاصًا لمعارف حول المستقبل، وأنهم يرغبون في التشارك فيها بسعر معين. وتتضمَّن الأمثلة المعروفة جيدًا وسطاء وحي مثل الذين كانوا في دلفي في اليونان القديمة. وكان هناك وسطاء وحي مماثلة في الكثير من المجتمعات على مستويات مختلفة حول كل العالم. وفي المجتمعات الصناعية، هناك مؤسسات تؤدي الوظائف نفسها. وحتى الآن، في مجتمعات حول كل العالم هناك اختصاصيون يزعمون أن لديهم معارف متخصِّصة حول المستقبل، قائمة على العلم أو خلافه، يمكن المشاركة فيها بثمن معين.

دعنا نعود الآن إلى تنبؤاتنا عن المستقبل. كما سبق أن رأينا، يمكن تمييز بعض النزعات طويلة المدى الرئيسية في التاريخ الكبير. لتكوين صورة عن النزعات طويلة المدى التي علينا توقّعها، وسوف نضع في اعتبارنا أولًا المستقبل الأبعد، أي مصير الكون بكامله.

تلخيص قصير جدًا للمستقبل البعيد للكون

في كتابهما بعنوان «الأعمار الخمسة للكون: داخل فيزياء الأبدية»، قدم عالما الفيزياء الأمريكيان فريد آدمز Fred Adams وجريج لوفلين Greg Laughlin وجهة نظر فيها شرح وافٍ حول مستقبل الكون. يقوم تحليلهما على افتراض أن الكون سوف يستمر في التمدد نتيجة للطاقة المظلمة، بينما هناك كتلة كافية لجذب الكون ليتقلّص ويُسحق. إضافة إلى ذلك، افترضا أنه على المدى البعيد جدًا لن تكون الجسيمات الأولية، البروتونات، والنيوترونات والإلكترونات، مستقرة، لكنها ستتحلل إلى أنواع طاقة منخفضة المستوى.

ولأن الكون سيستمر في الوجود إلى فترة زمنية طويلة جدًا في المستقبل، نحتاج إلى أرقام كبيرة جدًا لوصف مستقبله. لجعل هذه الأرقام الكبيرة قابلة للتعامل معها، قدم آدمز ولوفلين مفهوم العقد الكوني باعتباره 10 x سنة، حيث تشير x إلى عدد العقد الكوني المحدد. وهذا مقياس أسّي، وهو ما يعني أن الأعداد تصبح أكبر بسرعة: كل عقد كوني لاحق يكون أطول 10 مرات من العقد السابق. بينما كان العقد الكوني الأولي يمتد 10 سنوات فقط، فإن العقد الكوني الثاني يستمر بالفعل 100 سنة. وسوف يستمر العقد الكوني الحادي عشر 100 مليار سنة كاملة. وهذا هو العقد الكوني الذي نعيش فيه حاليًا، بعد نحو 13,7 مليار سنة من التطور الكوني.

تبعًا لآدمز ولوفلين، نحن نعيش الآن في الدهر الثاني، وهو ما أطلقوا عليه «العصر الحافل بالنجوم». سوف تستمر هذه الفترة الزمنية حتى العقد الرابع عشر الكوني، عندما يتوقف تكوين النجوم نتيجة لاستنزاف سُحُب الهيدروجين في المجرات. ولأن هناك حاجة للنجوم لتكوين نوع التعقد الذي نألفه، فإن هذا يعني أن هذا التعقد سيكون ممكنًا فقط حتى هذه الفترة الزمنية. ويؤدي ذلك إلى نتيجة حتمية هي أن وجودنا مرتبط بصورة أليفة مع كون شاب بالأحرى وذي قدرة على الطفو. ومع ذلك، فقبل العقد الكوني الرابع عشر بكثير، وهو ما يأتي بعد نحو 5 مليارات سنة، ستكون شمسنا قد استهلكت كل وقودها وسوف تتوقف عن الاحتراق. وسيعني ذلك نهاية أغلب، إن لم يكن كل، تعقد أكبر في مجموعتنا الشمسية. وبما بين 2 و5 مليارات سنة من الآن، سوف تقابل مجرتنا أقرب جيرانها، مجرة أندروميدا، وهو ما سوف يؤدي إلى اتحاد بين الاثنتين.

بعد العقد الكوني الرابع عشر، سوف يبدأ «عصر التحلل»، وسوف يتبعه «عصر

الثقب الأسود» في العقد الكوني الخامس والثلاثين، وأخيرًا «العقد الأسود» في العقد الكوني المائة وواحد وثلاثين. وكما تشير هذه الأسماء، فإنه خلال هذه الفترات الزمنية يصبح ظهور التعقد الأكبر أقل فأقل تفضيلًا، لأن الكون سيكون خاليًا من الطاقة. وهذا يعني أن الكون سيمر عندئذ بعملية تبسيط. خلال الوجود الإضافي للكون، لن تكون الظروف التي تدعم التعقد كما نعرفه موجودة بعد ذلك، لأن الكون سيكون خاليًا من الطاقة تمامًا تقريبًا. ونحو العقد الكوني الألف، وهو وقت طويل جدًا من الآن، كل المادة في الكون سوف تختفي نتيجة للتحلل المتوقَّع لكل الجسيمات الأولية، البروتونات، والنيوترونات والإلكترونات. وبعد ذلك الزمن، سوف يتكوَّن الكون بكامله من لا شيء سوى طاقة ذات مستوى منخفض. وسوف يمثل ذلك نهاية تعقد الكون.

لو أن هذا السيناريو عن المستقبل صحيح، يعتبر التعقد الحالي في الكون مرحلة مبكرة، عابرة، لكنها حتمية، لمسار طويل، بدأ بظهور المادة والطاقة بعد وقت قصير جدًا من الانفجار الكبير، بينما ستنتهي مع التحلل النهائي للمادة (وبالتالي أكبر فوضى ممكنة، أو إنتروبيا). ورغم أن ظهور تعقدنا الراهن جاء نتيجة تأثيرات عشوائية كثيرة جدًا، فإنه كان جزءًا أيضًا من عملية بنيوية بدرجة عالية. وبينما تم تشكيل المجرات، والنجوم، والكواكب والأجرام السماوية الأصغر خلال الـ 13,7 مليار سنة الماضية، تم حصر المادة والطاقة في مسار اعتماد نحو تعقد أكبر كان يتم تحديده بشدة بالقوى الطبيعية.

بمرور الزمن، سوف تفرغ النجوم والكواكب من الطاقة، وبذلك تفقد تعقدها الأكبر، بينما على المدى الطويل جدًا من المتوقَّع لها أن تتبخر بالكامل. من الواضح، أن الإمداد الكافي من المادة والطاقة يوجد فقط في الكون الشاب الذي نعيش فيه، والذي، بمصاحبة التوازنات بين القوى الطبيعية، ينتج ظروف جولديلوكس التي تؤدي حتمًا إلى ظهور هذه الأنواع من التعقد الأكبر.

مستقبل الأرض والحياة

لو أنه لم يتم تدمير مجموعتنا الشمسية بانفجار سوبرنوفا قريب، أو بتوحّد مع مجرة أندروميدا، سوف يرتبط مستقبلها عن كثب بمصير الشمس. وطول عمر نجمنا المتبقي هو بالتقريب 5 مليارات سنة. وخلال هذه الفترة الزمنية، سوف تسخن الشمس وتلمع بسطوع غير مسبوق، بحيث يغلي سطح الأرض ويجف بعد نحو 3 مليارات سنة من الآن. وبعد وقت طويل قبل ذلك الزمن، ستكون الحياة على كوكبنا قد توقفت عن

الوجود نتيجة للإشعاع الشمسي المتزايد. وخلال المرحلة الأخيرة في عمرها، سوف تنتفخ في الحجم إلى حد أن تصل إلى المدار الحالي لعطارد، بينما قد يذيب إشعاعها الشديد سطح الأرض. ورغم أن كوكبنا قد يصبح غير قابل للسكنى بالكامل في ذلك الوقت، قد تستمر الحياة في الوجود على الأقمار التي تدور حول كواكبنا الخارجية[1].

هذا يعني أن الحياة على الأرض قد يكون قد تبقى لها 2 مليار سنة، وهذا زمن أطول بأربع مرات من الفترة الزمنية التي انقضت بين الانفجار الكمبري لأنواع الحياة والآن. خلال ذلك الزمن، سوف تستمر الطاقة الشمسية من الخارج في الزيادة، بينما سوف تستمر الطاقة النووية من داخل الأرض في التناقص، وبذلك تؤدي إلى تباطؤ حتمي لعملية تكتونية الصفائح. ولأن هذا أمر مهم فإن الرابطة في نظام إعادة التدوير للكوكب قد يتوقَّف عملها، وقد يبدأ العادم الناتج عن الحياة في التراكم إلى حد غير قابل لتقديره وتكون له عواقب لا يمكن التنبؤ بها. مع ذلك، ليس من الواضح متى سوف تتوقَّف تكتونية الصفائح.

ولأن كلًا من المادة والطاقة سوف تكونان متاحتين بوفرة للكثير من ملايين السنوات القادمة، يبدو من المناسب افتراض أن الحياة لها مستقبل مشرق على هذا الكوكب، حتى رغم أن الإنسانية تسبب في الوقت الراهن حادث انقراض رئيسيًا. ورغم ذلك إذا نظرنا للأمر على المدى الطويل، ربما لن تستمر وكالة البشرية على الأرض أكثر من بضعة ملايين أخرى من السنوات، ربما أقل من ذلك، قبل أن ينقرض جنسنا البشري. وبضعة ملايين السنوات هي تقريبًا متوسط عمر النوع المعقد مثل نوعنا[2]. وقد يحدث نتيجة لقدراتنا الفريدة، أن يبقى البشر مدة أطول من ذلك. وكما ستتم مناقشته، قد يتضمَّن هذا الوصول إلى توازن بيئي أفضل في استخدام الموارد الطبيعية. ورغم ذلك، لو رأينا الأمر من زاوية مدة زمنية أطول ربما ستختفي البشرية من على وجه الأرض، بعد أن ينتج التطور البشري ما لا حصر له من أنواع الحياة الجديدة، بعضها قد لا نستطيع حتى تخيله، بينما سوف تصبح أنواع حياة أخرى لا تحصى منقرضة.

مستقبل البشرية

لأنني أتوقَّع أن أغلب الناس سيشعرون بمزيد من القلق تجاه مستقبل نوعنا، فإن بقية الفصل مكرَّسة لهذا الموضوع. لن يكون من المفاجئ أن مصير الجنس البشري يبدو مرتبطًا بشكل حميمي بأن تكون المادة والطاقة متاحتين. ليس هذا بجديد. ولقد أكد الكثير من الباحثين على وجهة النظر هذه خلال سبعينات القرن العشرين. ورغم

ذلك في العقود التالية، كانت رسائلهم الواضحة قد تم الجدل حولها ثم نسيانها تقريبًا. ولحسن الحظ، حدثت خلال كتابتي لهذا الكتاب، زيادة سريعة في الاهتمام بدراسات الطاقة. ومن المرجَّح أكثر أن هذا حدث جزئيًا على الأقل نتيجة للارتفاع السريع في سعر الطاقة في 2008، بالإضافة إلى الإدراك المتنامي بأننا لن نقضي قريبًا على الطاقة غير القابلة للتجدد. وتتضمن الأمثلة على هذا الاهتمام المتجدِّد مقالة خاصة في «ناشيونال جيوجرافي» بعنوان «طاقة للغد»، تم نشرها في ربيع 2009، والكتاب الرائع «الطاقة القابلة للتجدد» للعالم الإنجليزي دافيد ماكاي David Mackay، من دون الكلام الفارغ في 2008. ونتيجة لذلك، فإن الكثير من الاقتراحات التالية حول مستقبل البشرية قد يصبح في القريب العاجل معلومات شائعة.

دعنا نعود في البداية إلى التبصّرات حول الطاقة التي تمت صياغتها في سبعينات القرن العشرين وبداية الثمانينات. جاءت وجهات النظر هذه نتيجة مباشرة لكلٍ من مشهد انبثاق الأرض وما أطلق عليه «أول» أزمة طاقة، والتي جاءت بسبب رفض العرب إرسال ما يكفي من النفط لبلدان شمال الأطلنطي بعد حرب يوم الغفران (كابور) في عام 1973، بسبب دعم هذه البلدان لإسرائيل. وخلال هذه الفترة الزمنية، بدأ الكثير من الناس يدركون أن البشر كانوا يستهلكون سريعًا مخزونًا محدودًا جدًا من الطاقة الشمسية مخزَّنًا في الجزيئات البيولوجية[3]. في عام 1971، على سبيل المثال، لخَّص اختصاصي الطاقة الأمريكي م. كينج هوبرت M. King Hubbert، ذو الشهرة العالية في مجال النفط، الموقف كما يلي[4]:

> «من الصعب للناس الذين يعيشون الآن، والذين أصبحوا معتادين على النمو الأسي الثابت في استهلاك الطاقة من الوقود الأحفوري، أن يدركوا كيف سنعرف وضع حقبة الوقود الأحفوري العابرة في النهاية عند النظر إليها عبر فترة طويلة من تاريخ البشر. ويمكن رؤية الموقف بشكل أفضل من منظور 10 آلاف سنة تقريبًا، نصف هذا الوقت قبل الوقت الحاضر والنصف بعد ذلك. وعلى مثل هذا المقياس، سوف تتم رؤية الدورة الكاملة لاستغلال الوقود الأحفوري في العالم على أنه يشمل 1300 سنة، مع الجزء الرئيسي في الدورة (يتم تعريفه على أنه الفترة الزمنية التي يتم خلالها استخراج كل الوقود باستثناء أول 10 في المائة وآخر 10 في المائة وحرقه) وهو ما يغطي فقط نحو 300 سنة».

في العام نفسه، صاغ العالم الأمريكي هاوارد ت. أودام Howard T. Odum وجهة نظره حول أهمية الطاقة لتوليد التعقد بنجاح[5]:

«أغلب الناس يظنون أن الإنسان تقدم في الحقبة الصناعية المعاصرة لأن معارفه ومهارته بلا حدود، وهي حقيقة جزئية خطيرة. كل تقدم هو نتيجة إعانات طاقة خاصة، ويتبخَّر التقدم عندما، أو أينما، تتم إزالتها. والمعارف والمهارة هي وسائل لاستعمال إعانات الطاقة عندما تكون متاحة، وأيضًا يعتمد التطور والمحافظة على المعارف على الحصول على الطاقة».

بالفعل خلال بداية سبعينات القرن العشرين، لم يتم فقط الحصول على فهم واضح بأن النقص المتوقَّع للطاقة الأحفورية قد يسبب المشاكل، ولكن أيضًا أننا قد نقضي على موارد نادرة أخرى بينما نتتج كميات أكبر غير مسبوقة من التلوث. بعبارة أخرى، كان السؤال يدور حول ما إذا كان لدينا ما يكفي من المادة والطاقة لإنتاج التعقد المرغوب فيه من دون أن نغرق في الإنتروبيا الناتجة.

أول دراسة أعرفها كانت تبحث عن نموذج لهذا الموقف على مقياس عالمي، تم نشرها في عام 1972 بعنوان «حدود على النمو: تقرير لمشروع منتدى روما حول مأزق الجنس البشري». وجاء هذا الكتاب الذي كان مؤثِّرًا إلى أقصى حد في كشف طبيعة النقاش العام، نتيجة لدراسة شاملة تم إجراؤها في معهد ماساشوستس للتقنية بواسطة فريق دراسة ما بين الأفرع العلمية لباحثين قادهم عالم إدارة النظم الأمريكي دينيس ميدوز Dennis Meadows. ولقد أنجز فريقه أحد أوائل نماذج الحاسب، إن لم يكن الأول، حول الأرض كمنظومة حيث تلعب المادة والطاقة والإنتروبيا دورًا أساسيًا.

يتكوَّن نموذجهم من خمسة متغيرات رئيسية: التعداد، والموارد (بما فيها الطاقة)، وإنتاج الطعام لكل فرد، والإنتاج الصناعي لكل فرد والتلوّث. وارتبطت هذه المتغيرات بما كان يُعتبر دورات ارتجاع مقبولة. وكان خرج ما أطلق عليه النموذج المعياري هو أنه بينما تتناقص الموارد المهمة، قد يصل في نحو 2020 كل من إنتاج الطعام والإنتاج الصناعي إلى ذروة ثم يتناقصان نتيجة لاستنزاف الموارد الطبيعية والنمو السكاني. وقد يؤدي الانخفاض في الإنتاج الصناعي بالتالي إلى نقص في التلوث. وقد يصل التعداد السكاني العالمي إلى ذروة نحو عام 2070 ثم ينهار نتيجة لنقص الكثير من أنواع الموارد[6].

لم تكن هذه الرسالة مثيرة للسعادة في عصر كان فيه «التقدم» أسلوب العبارة الآسرة. قدم الباحثون بعد ذلك عددًا من الافتراضات الإضافية، مثل اتزان التعداد السكاني في عام 1975، أو موارد لا محدودة، ثم بعد ذلك أجروا نموذجهم على الحاسب. في كل حالة، حدث انهيار. أخيرًا، بحثوا عن طرقٍ أخرى لإحداث توازن في منظومة العالم وتوصلوا إلى نتائج سالبة في الغالب. أدت نتائجهم إلى عدد من النتائج والتوصيات المؤثرة قد تساعدنا أن نحاول جاهدين الحصول على المزيد من العالم المستدام. كان الباحثون حريصين جدًا في وضع نتائجهم، لأنهم كانوا منتبهين جدًا لحقيقة أن العالم الحقيقي كان أكثر تعقدًا بكثير من نموذجهم، بما في ذلك حقيقة أن الكثير من جوانبه قد لا يمكن قياسها بدقة أو حتى التعبير عنها بالأرقام.

عزز كتاب «حدود النمو» كمية كبيرة من الأبحاث الإضافية في مجال جديد ما أسرع ما أصبح معروفًا باسم «دراسات بيئية». تقريبًا ليست هناك حاجة للقول، بأن تقرير الأمم المتحدة المعروف جيدًا «مستقبلنا المشترك» (1987)، الذي وضعته المفوضية العالمية للبيئة والنمو، كان نتيجة مباشرة لهذا الوعي البيئي المتنامي[7]. في التقرير المسمَّى براندتلاند، تبعًا لرئيس المفوضية الذي أنجزه، فإن التعريف المشهور حاليًا بـ «التنمية المستدامة» تم تقديمه باعتباره «النمو الذي يلبي حاجات الحاضر من دون التنازل عن قدرة أجيال المستقبل على تلبية حاجاتهم الخاصة». وهذا التعريف غامض بعض الشيء، إذا عرفنا حقيقة أنه لا أحد يمكنه أن يعرف بدرجة من اليقين ما ستحتاجه أجيال المستقبل لتلبية حاجتها. ورغم ذلك لو أنهم سيحتاجون إلى موارد مماثلة للموارد التي نستخدمها اليوم، يمثل هذا التعريف تحديًا أساسيًا للبشرية.

من المثير للاهتمام، أن ناسا قد تأثَّرت إلى حد كبير بهذه التطورات. في عام 1975، على سبيل المثال، في مقدمته للنشر الرسمي لملخص بعثات أبولو إلى القمر، كتب مدير ناسا جيمس فليتشر[8] James Fletcher:

> «رعاية الموارد المحدودة للكوكب، وتطوير مخزونه من الطاقة، وتغذية ملياراته، وحماية بيئته، وتكبيل أسلحته هي بعض من هذه المشاكل. لو أن الحيوية البالغة، والعزم والتكريس الذي جعل أبولو ناجحًا أمر يمكن احتماله، لعله سيكون التراث الذي لا يُقدَّر بثمن لأبولو».

دعنا نعود إلى «حدود النمو». بينما كان يتم انتقاده مرات كثيرة من زوايا كثيرة

مختلفة خلال السنوات التالية، لا تزال رسالته العامة صحيحة، حتى رغم أن الفترة الزمنية المقترحة، إذا رأيناها من منظور قصير المدى، لاستنزاف الموارد النادرة قد تكون متشائمة قليلًا. تبعًا لدراسة للعالم الأسترالي جراهام تيرنر Graham Turner التي نُشرت في عام 2008، اتبعت التطورات الفعلية عبر الـ 30 سنة الماضية، بالفعل، عن قرب تنبؤ النموذج المعياري في «حدود النمو»[9]. وهذا لا يعني، بالطبع، أن تقديراتها التالية ستصبح حقيقة. ورغم ذلك إذا وضعنا في اعتبارنا حقيقة أن نموذج الحاسب الأولي كان بالأحرى ناجحًا جدًا في التنبؤ بالسنوات الـ 30 الماضية، قد يكون من الحكمة أن نأخذ السيناريو الخاص به على المدى البعيد بشكل جاد جدًا.

تيسُّر المادة والطاقة

من وجهة نظر الديناميكا الحرارية، تعتبر الموارد النادرة نادرة لأن هناك القليل من الأماكن على الأرض يمكننا أن نجدها فيها مركزة إلى حد أنها تكون مفيدة للبشر. ورغم ذلك ففي الكثير من الأماكن الأخرى، توجد هذه المواد مخفَّفة إلى حد كبير جدًا. لو كان لدينا كميات محدودة من الطاقة الرخيصة في متناولنا، قد نستطيع تركيزها بما يكفي. في مثل هذا الموقف، لن تكون هناك موارد نادرة، طالما يمكننا التخلص من الإنتروبيا الناتجة عن هذه الجهود[10]. النتيجة أن تيسّر الطاقة والموارد الأخرى مترابط بشدة. على سبيل المثال، لو أننا استطعنا تقطير ماء المحيط بتكاليف منخفضة ونقلناه رخيصًا إلى مناطق تحتاج إليه، لن يكون الماء النقي موردًا نادرًا في أي مكان.

كلما ازداد تعداد الناس على كوكبنا، كلما ازدادت الحاجة إلى الموارد. فإذا رأينا الأمر من وجهة النظر هذه، من المهم المحافظة على أعداد التعداد السكاني للبشر تحت السيطرة. لو أن التعداد العالمي استمر في النمو خارج السيطرة، لن يكون هناك أمل في أن نصل في أي وقت إلى أسلوب حياة متوازن بيئيًا من دون المرور بانهيار اجتماعي-اقتصادي عميق[11]. ولحسن الحظ، يبدو أن نمو التعداد العالمي أصبح مستويًا تقريبًا بشكل طبيعي. ويبدو أن هذا مرتبط بالزيادة في سكنى الحضر. ففي المدن تكلفة الأطفال عالية لأنهم لا يسهمون اقتصاديًا لفترة زمنية طويلة. ومعظم المدن، إن لم يكن كلها، تنمو عادة بسبب الهجرة من الريف، حيث أسهم الأطفال في الاقتصاد بالفعل في سن مبكرة. يُضاف إلى ذلك، أن المدن كانت أيضًا في الغالب مستودعات مرض، ما حافظ على السكان تحت السيطرة. وحديثًا أسهمت حقيقة أن أغلب نساء

المدن التحقن بالقوة العاملة العامة في هذه النزعة أيضًا، بينما أدى تقديم أنظمة تقاعد معممة إلى انخفاض في الاعتماد المباشر على أطفال الشخص كداعمين للسن المتقدم في العمر (بأي وسائل كانت)، وبذلك قلّت الحاجة إلى التناسل[12].

نتيجة لذلك، يبدو أن السؤال الأكثر أهمية هو كمية الطاقة المتاحة في القريب العاجل لإنشاء كميات كافية من التعقد، بينما تتم المحافظة على الإنتروبيا منخفضة إلى المستويات المرغوب فيها. والتقديرات الراهنة غير مشجعة. واعتمادًا على تقديرات وكالة الطاقة الدولية، بالإضافة إلى مقالة خَلّاقة لدافيد ستراهان David Strahan نُشرت في 2008 في مجلة العلم البريطانية «نيو ساينتست»، قد تكون مخزونات الطاقة المؤكدة كما هو موضح في الجدول[13] (8-1).

الجدول (8-1): المدة المقدرة لموارد الطاقة غير المتجددة

مورد الطاقة	الزمن المتوقع قبل الاستنزاف
النفط (متضمِّنًا الطفل)	100 سنة حد أقصى
الفحم الحجري	100 سنة حد أقصى
الغاز الطبيعي (متضمنًا الميثان الشبكي methane clathrates)	200 سنة حد أقصى
اليورانيوم	عدة عقود

تلك، بالطبع، تقديرات تقريبية، وهي تعتمد إلى حد كبير على متغيرات مهمة، مثل النمو السكاني، واستخدام الموارد عبر العالم والاكتشافات غير المتوقَّعة. ورغم ذلك حتى لو أنه تمت مضاعفة هذه التقديرات، يظل هناك سبب للقلق المحفوف بالمخاطر. لأنه بوضوح، كما يدرك الكثير من الناس الآن، قد تكون مباراة النهاية قد بدأت بالفعل. لو أن العلماء يستطيعون إنشاء مفاعلات اندماج نووي فاعلة أو أي مصدر طاقة آخر مماثل، قد يخفِّف ذلك إلى حد كبير من احتياجاتنا للطاقة في المستقبل. لكن حتى الآن، إن احتمالات فعل ذلك ليست مشجِّعة. إذا وضعنا هذا الموقف في الاعتبار، قد لا يكون أمام البشرية فرصة سوى العودة إلى أسلوب حياة يعتمد على الطاقة المتجددة. بعبارة أخرى، إن إعانة الطاقة الضخمة الناتجة عن الطاقة الشمسية المخزنة في

الجزيئات الحيوية سوف تنهار قريبًا، ما سيؤدي إلى تغيرات حادة في التعقد الاجتماعي والتقني، وهو ما يصعب التنبؤ به في الحاضر[14].

بفضل حقيقة أن هناك إعانة مؤقتة من الطاقة الشمسية الأحفورية، التي أسهمت في ظهور الثورة الصناعية، تم تطوير الكثير جدًا من التقنيات ستجعل من الأكثر سهولة الحصول على أنواع من الطاقة المتجدِّدة، وبذلك تتم العودة إلى أسلوب حياة يعمل مباشرة بالشمس، بالإضافة (إلى حد أقل بكثير) بواسطة حرارة باطن الأرض وبواسطة طاقة المد والجزر الناتجة من سحب الجاذبية بنظام الشمس -الأرض- القمر.

كما قال مساعدو أبحاث تينتر، كل مصادر الطاقة المتجدِّدة هذه أقل تركيزًا من الوقود الأحفوري، ما يعني أن البشر سيكون عليهم بذل المزيد من الجهد للحصول عليها. مقارنة بالوقود الأحفوري، فإن التكاليف الراهنة لإنتاج هذه الأنواع الجديدة من التعقد للحصول على الطاقة المتجددة لا تتجاوز غالبًا فوائدها، على الأقل على المدى القصير. وبالتالي، طالما ظل الوقود الأحفوري متاحًا، سيكون من الصعب الانتقال إلى موارد طاقة متجدِّدة في النظام الاقتصادي الراهن، حيث التنافس هو الرابح.

في الوقت الراهن، لدينا مدخل إلى مصادر طاقة متجدِّدة رئيسية، أي الطاقة الشمسية و، إلى مدى أقل بكثير، حرارة باطن الأرض وطاقة المد والجزر. ولأن كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض أكبر مرات كثيرة من حرارة باطن الأرض، يبدو من الواضح أن هذا هو خيارنا الأساسي (بما في ذلك طاقة الريح والماء، وكلاهما ينتج عن الطاقة الشمسية). رغم ذلك، قد تكون مصادر طاقة باطن الأرض والمد والجزر مصادر مفيدة جدًا للطاقة في أماكن مميزة.

إذا وضعنا هذا الموقف في الاعتبار، يبدو من الحكمة اختيار خليط من استراتيجيات الطاقة المختلفة. أولًا، يمكن الحصول على الطاقة محليًا وإقليميًا، ومن المفضل أن تكون أقرب بقدر الإمكان من مكان استخدامها. ويقلل ذلك إلى الحد الأدنى الفقد خلال النقل والتكاليف، وبذلك يتم أفضل استخدام للطاقة المتاحة. لكن ذلك قد لا يكون كافيًا. والطاقة المتجددة مشهورة بأنها تتذبذب، حيث إنها تعتمد على موارد متغيرة، مثل الإشعاع الشمسي، والرياح والماء. يضاف إلى ذلك، أنه في الكثير من الأماكن، خاصة في المدن، يكون استخدام الطاقة أعلى بمرات كثيرة من كميات الطاقة التي من المحتمل أنه يمكن الحصول عليها. لو أردنا المحافظة على تعقد المدن، غالبًا ستحتاج الطاقة المنتجة محليًا، من ثم، إلى أن تُضاف إليها طاقة يتم توليدها في مكان آخر.

على عكس مخزونات النفط والفحم الحجري، ليست الطاقة الشمسية مركزة إلى حد كبير. ونتيجة لذلك، فإن العائد الحالي للاستثمار في الحصول على الطاقة الشمسية أقل بكثير من الوقود الحيوي. يبدو من الحكمة، بالتالي، تطوير الطاقة الشمسية أولًا في أماكن حيث يمكن توقّع وجود أكبر تدرّج طاقة، أي في مناطق حيث أشعة شمس كافية والقليل من الزراعة، أو قد لا تكون الزراعة موجودة، بعبارة أخرى، صحراء. في مقالة في المجلة العلمية «نيو ساينتست» نُشرت في 2007، تمت الإشارة إلى أن نحو 10 آلاف كم^2 من الخلايا الفلطية الضوئية في تكساس أو نيومكسيكو يمكن أن تمد الولايات المتحدة بكل احتياجاتها الكهربائية، بينما يمكن ل 300 ألف كم^2 من الخلايا الشمسية في الصحاري أن تولّد حاجات العالم كله من الطاقة، والتي تقدر حاليًا بنحو 15 تيراواط. لو أن هذه الأرقام صحيحة، قد يمكن حقًا توليد طاقة كافية للمحافظة على استمرار تعقدنا، خاصة لأن هناك أماكن كثيرة جدًا على كوكبنا حيث يمكن الإمساك بالطاقة الشمسية وتحويلها إلى كهرباء[15].

لو أن هذا سيحدث بالفعل، يمكن التنبؤ بعدد من القضايا العملية. أولًا، ستكون هناك حاجة إلى إنتاج نباتات الطاقة الشمسية بأسرع وأرخص ما يمكن، بينما تظل لدينا موارد طاقة أحفورية باقية لفعل ذلك. يُضاف إلى ذلك، أنه تجب المحافظة على حدائق حصد الشمسية الهائلة هذه: على سبيل المثال الغبار من العواصف الترابية، وهو شائع جدًا في الصحراء، وتجب إزالته. وعلى الأقل، تنتمي هذه الأماكن قليلة السكان إلى أشخاص يكونون فقراء جدًا غالبًا. وإعادة تقدير قيمتها الاقتصادية قد تحول هؤلاء الناس إلى شيوخ طاقة شمسية جدد أغنياء، مع اختلاف بأنه، بينما ثروة النفط مؤقتة، فإن ثروة الشمس تعتبر أكثر استدامة بكثير. قد يتساءل المرء عن السعر الذي سيقبله هؤلاء الملاك المميزون للطاقة الشمسية، بالإضافة إلى ما سيفعلونه بالتدفق المستمر للمال الذي يستحقونه عنها. هل ستكون هناك مجتمعات أخرى راغبة في دفع مثل هذا السعر، أو هل من المحتمل أن يؤدي ذلك إلى حروب جديدة بل وحتى أنواع جديدة من الاستعمار؟

بالإضافة إلى القضايا الاجتماعية، قد يحتاج الكثير جدًا من المشاكل التقنية إلى حل. لأن الحصول على الطاقة الشمسية يختلف نتيجة للتغيرات في الإشعاع الآتي، بينما يختلف الطلب أيضًا نتيجة للاحتياجات الاجتماعية، سيحتاج هذان النظام

المذبذبان إلى التوافق بمساعدة نظام معالجة طاقة. قد يأخذ ذلك أشكالًا مختلفة، بما في ذلك إنتاج الأكسجين والهيدروجين من الماء، ويمكن أن يتوحدا من جديد في خلايا وقود لتكوين الماء مرة أخرى، بينما يطلقان طاقة. والخيار الثاني قد يكون إنتاج بحيرات اصطناعية، حيث يتم استخدام الطاقة الإضافية لضخ مستوى الماء، وهو ما يمكن إطلاقه ثانية عند الحاجة بتشغيل تربينات ماء. وكل المحركات والآلات التي نقوم بتشغيلها الآن بالوقود الأحفوري قد تحتاج إلى تحويلها لتعمل بالكهرباء. بعبارة أخرى، سيكون من الواجب تصميم وإعادة إنتاج الكثير جدًا من الأنواع الجديدة من التعقد المشيد. ونتيجة لذلك، يبدو أن المستقبل بالنسبة للمهندسين سيكون طيبًا بشكل استثنائي.

وقد تقدم الطاقة المخزنة في المحيطات أيضًا خيارات مثيرة للاهتمام. قد يتضمن ذلك ليس فقط طاقة المد والجزر، ولكن أيضًا، وربما يكون الأكثر أهمية بكثير، الطاقة التي يمكن الحصول عليها من المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية باستغلال الاختلافات في درجات الحرارة بين سطح الماء الدافئ وماء الأعماق الأكثر برودة. وقد يقدم ذلك «طاقة لا حدود لها». رغم أن هذا قد يبدو متفائلًا بعض الشيء، فإن هذه العملية يتم أخذها مأخذًا جادًا في مجال الأعمال الكبيرة وقد تقدم خيارًا جيدًا. وقد تكون إحدى المزايا أن هذا النوع من الطاقة المتجدِّدة لا يتذبذب إلى حد كبير[16].

قد يكون لدى صناعة خطوط الطيران أكبر مشكلة مع الندرة المتوقعة للوقود الأحفوري، لأن ظروف جولديلوكس للطائرات تتطلب وقودًا خفيفًا ينقل الطاقة بكثافة عالية بقدر الإمكان من دون أن يكون من الصعب التعامل معه. والوقود النفَّاث هو المناسب تمامًا لهذا الغرض، لكن الهيدروجين أو الكهرباء لن يعملا بهذه الدرجة الجيدة بما فيه الكفاية. وتم تخطيط تجارب لإنتاج وقود نفاث من الطحالب في المحيطات الدافئة، مثلًا بالقرب من هاواي، ولكن بالنسبة لكميات الوقود النفاث التي تُستخدم حاليًا، يبدو من المناسب توقع أن ندرة الوقود سوف تؤدي إلى انخفاض حاد في تعقد جدول مواعيد الخطوط الجوية.

ومع المزيد من التعميم، فإن المزيد من ارتفاع سعر الطاقة يعني حتمًا انخفاضًا في أنواع التعقد هذه التي تتطلب كمية كبيرة من الطاقة لصنعها والمحافظة عليها، أولًا الإنتاج الصناعي للطعام ووحدات الاستهلاك، بالإضافة إلى أنواع النقل الكثيرة،

خاصة الطائرات والسيارات، ولكن أيضًا القطارات والسفن. لو أن هذا التقدير صحيح، سوف يقوم الناس، في البلدان الثرية، بفعل ذلك بوسائل مادية أقل وسوف يتنقلون عبر مسافات أقصر. وقد تحدث نزعة مماثلة أيضًا في البلدان الأقل ثراء. ربما يكون التعقد الإلكتروني العالمي الحالي أقل تكلفة في المحافظة عليه وقد يعني من ثم انخفاضًا أقل نتيجة لذلك[17].

استنزاف الموارد الأساسية وزيادة الإنتروبيا

بالإضافة إلى التحول إلى نظام طاقة متجددة وتوازن التعداد السكاني العالمي، قد تواجه البشرية قريبًا حشدًا من مشاكل أخرى معروفة جيدًا، ويمكن أن يُلخَّص باعتباره استنزافًا للموارد المهمة ونموًا في الإنتروبيا. وهذا يتضمن استنزاف الموارد النادرة الضرورية، مثلًا، لإنتاج، والمحافظة على، الألواح الشمسية، ونقص في الماء النقي الكافي، وتآكل التربة والاستنزاف المتوقَّع لمخزونات الفوسفات كسماد، وهو جوهري بالنسبة للزراعة.

بينما تم الاعتراف، على نطاق واسع، بأن تآكل التربة والندرة المتنامية للماء النقي هما مشكلتان خطيرتان، فإن النضوب المتوقَّع لمخزونات الفوسفات لم يحدث له ذلك. ورغم ذلك، قد تكون تلك قضية أكثر جدية بكثير، لأن المخزونات المعروفة حاليًا للفوسفات سوف تبقى 100 سنة كحد أقصى. بينما يتم تعدين الفوسفات في عدد من البلدان، لدى المغرب والصحراء الغربية نحو نصف المخزون العالمي المعروف. ولقد سمح اكتشاف هذه الرواسب للزراعة الحديثة بالوصول إلى مستويات إنتاج غير مسبوقة. ولأن عنصر الفوسفور جوهري للمحافظة على تماسك الأعمدة الفقرية للدنا والرنا، بينما يلعب دورًا مهمًا في كل التفاعلات الكيميائية تقريبًا حيث يتضمن الأمر نقل طاقة، لا يمكن استبداله بأي شيء آخر. وحاليًا، بعد استخدام الفوسفات الخام بكميات كبيرة في السماد، انتهى أغلبه في المحيطات على شكل مخفَّف، حيث من الصعب جدًا تركيزه إلى حد استخدامه من جديد. لو كنا نرغب في تجنب انهيار الزراعة الصناعية التي نعرفها –وبالتالي تجنُّب انهيار شديد في هذا المورد الأكثر أهمية للطاقة الشمسية– علينا العثور على طرق جديدة لضمان أن فقد الفوسفور إلى المحيطات في حده الأدنى[18].

الحرق الراهن لكميات كبيرة من الوقود الأحفوري يؤدي إلى زيادة في غازات

الصوبة الزجاجة في الغلاف الجوي والمحيطات، وهو ما سوف يؤدي إلى ظاهرة احتباس حراري متزايدة ما يسبب تغيرًا مناخيًا مع ما يصاحبه من ارتفاع في مستوى البحر. بينما قد تستفيد بالفعل بعض البلدان، مثل كندا والاتحاد الروسي، من الطقس الأكثر دفئًا، لأنه قد يجعل الزراعة لديهما أكثر إنتاجية، فإن مناطق أخرى قد تعاني، خاصة المناطق منخفضة الأراضي على شواطئ البحار والمحيطات والتي يهدِّدها الغمر بالماء. تعيش أعداد كبيرة من الناس في هذه الأماكن، وقد ينتقل الكثير منهم إلى داخل الأراضي لو ارتفع مستوى البحر بقدر كبير. وسوف يؤدي هذا التطور أيضًا إلى نمو في الصناعة التي تقدم حلولًا لهذه المشاكل، يتراوح بين إقامة السدود حتى أجهزة التبريد. وزيادة ثاني أوكسيد الكربون في المحيطات تجعلها أكثر حمضية، وهو، إذا لم يتم فحصه، ما سوف يؤدي إلى تغيرات كبيرة في بيئتها وهو ما قد يصعب التنبؤ به.

يُضاف إلى ذلك، نحن نواجه تهديدًا معروفًا جيدًا من الفقد الهائل الحالي في التنوع البيولوجي الناتج عن النشاط الإنساني، ويُشار إليه غالبًا باعتباره حادث الانقراض الرئيسي السادس منذ العصر الكمبري. حيث إنه طالما استمر البشر في الاستيلاء على المزيد من الطاقة والموارد من سطح كوكبي محدود، سوف تستمر هذه النزعة، ربما وصولًا إلى خسارة كبيرة للأجيال في المستقبل. ويُضاف إلى ذلك، أننا نصبح في الزراعة التجارية معتمدين على عدد محدود جدًا من النباتات والحيوانات، وهو ما قد يفنى بأوبئة جديدة، وهذا ربما يسبب ضررًا أكبر ودمارًا للمجتمعات البشرية. قد يكون من الحكمة تنويع محاصيلنا، كما لا يزال يفعل المزارعون التقليديون، وهو ما قد يؤدي إلى محاصيل أقل لكنه سيقدم حماية أكبر ضد مثل هذه الكوارث. قد يحدث أن نستطيع تعلُّم كمية كبيرة من ممارسات الزراعة التقليدية بدراستها بعناية.

بالإضافة إلى كل هذه المشاكل، نحن نواجه قضية الإنتروبيا المتنامية، والتي تسببها غالبًا المواد التي نلقي بها على سطح بيتنا الكوكب. بالإضافة إلى مقالب النفاية المتنامية، هذا يتضمن البعثرة على الأرض، وفي المحيطات، وفي الغلاف الجوي وحتى في مدار الأرض، وهي نفاية من أنواع كثيرة، بالإضافة إلى الكثير جدًا من المواد الكيميائية التي تكون لها غالبًا عواقب مجهولة، وقد تكون ضارة بصحة البشر، والحيوان والنبات. ويتضمَّن هذا أيضًا مستويات ثاني أوكسيد الكربون المتنامية في الغلاف الجوي والتي يُعتقد بأنها هي سبب التغير المناخي الذي يتسبَّب فيه البشر.

كل هذه القضايا مترابطة تبادليًا، لأنها كلها نتيجة لأنشطة الإنسان لإنتاج كمية كبيرة من التعقد من أجل نفسه، وغالبًا على حساب توافر المادة والطاقة للأنواع البيولوجية الأخرى. ورغم الإنجازات قصيرة المدى والتي كانت مذهلة في الغالب، قد تتضمَّن بالفعل التأثيرات طويلة المدى غير المتعمدة الإنتاج المستمر للكثير من أنواع التعقد المشيد هذه. في كل هذه القضايا، تعتبر الطاقة المتاحة ذات أهمية كبيرة. وهذا، وهذا فقط، سيحدد ما إذا كانت البشرية سوف تستطيع تشكيل كميات كافية من التعقد المشيد والمحافظة على ظروف جولديلوكس للمساعدة على بقاء هذا الكوكب.

يتساءل المرء حول ما ستكون طبيعة الطريق نحو نظام طاقة متجدِّدة. لو أن على البشرية أن تبقى على هذا الكوكب، سوف يحدث هذا التحول. ومن الصعب التنبؤ بتفاصيله، ورغم ذلك يبدو أن هناك أمرًا واحدًا واضحًا: كما كان الأمر في الماضي، سوف تؤدي التغيرات الحادة المتوقعة في طرق حصول البشر على الطاقة واستخدامها من أجل الأغراض البَنّاءة والمدمرة، إلى تغيرات مماثلة حادة في نوع وشكل كلٍّ من هرم الغذاء الإنساني وهرم الغذاء البيولوجي العام.

هل يهاجر البشر إلى كواكب أخرى؟

على عكس المتنبئون الأكثر تفاؤلًا، أشك في أن أغلب، إن لم يكن كل، أعضاء نوعنا سوف يحافظون على الحياة على كوكبنا الأرض، لأنه يبدو من غير المرجح لي أن البشر ستكون في استطاعتهم المشاركة في سفر فضائي لمسافة طويلة أبعد من مجموعتنا الشمسية[19]. أولًا، المسافات هائلة. حتى أقرب جيراننا النجميين، نجم قنطورس الرئيسي Alpha Centauri، يبعد نحو أربع سنوات ضوئية. لو افترضنا – وهذه «لو» كبيرة– أن رحّالتنا الفضائيين الشجعان يستطيعون الوصول إلى سرعة 1 في المائة من سرعة الضوء (وهي أكبر في قيمتها بضع مرات مما نستطيع الوصول إليه الآن)، قد يستغرقون أكثر من 400 سنة للوصول إلى هذا النجم ورفيقه (وهما يمثلان زوجًا من النجوم الزوجية)، آخذين في الاعتبار الوقت الضروري للتسارع والتباطؤ. وماذا لو أن هذين النجمين ليس لهما كوكب فيه ظروف جولديلوكس للحياة والجنس البشري؟ إلى أين يمكن لرحّالتنا الفضائيين المغامرين أن يذهبوا، لو أنهم ظلوا يتدبرون أمر ما يكفي من الموارد التي تسمح لهم باتخاذ مثل هذا القرار؟

بالإضافة إلى الطاقة الضرورية للوصول إلى وجهتهم، فإن التكاليف (من حيث

المادة، والطاقة وظروف جولديلوكس الاصطناعية) للمحافظة على تعقدهم الخاص، بالإضافة إلى ذريتهم قد تكون باهظة جدًا، بينما قد يجد رواد الفضاء الشجعان القليل من الموارد أو لا يجدون أية موارد عبر الطريق ليتزوّدوا من جديد بمؤوناتهم. وبمجرد أن يغادر رحالتنا الكونيون المجموعة الشمسية الداخلية، قد لا يعود لديهم مصدر طاقة لتشغيل تعقدهم، لأنه عند مسافة شاسعة من الشمس، ستكون أشعتها ضعيفة جدًا لكي تمدهم بالطاقة الكافية. ورغم ذلك قد يحتاج رحالة الفضاء إلى الطعام، والملابس والرعاية الطبية، بالإضافة إلى نظام تخلّص من النفاية (بما في ذلك كيفية التعامل مع رحالة الفضاء المرضى). لتقليل الوزن إلى أدنى حد قد يكون هناك عندئذ تأكيد كبير على إعادة التدوير، وهو ما قد يتضمن استخدام حتى المزيد من الطاقة. ونتيجة لذلك، قد يكون على هذه السفينة الفضائية أن تشبه أرضًا صغيرة، مع الفارق في أنه لا توجد شمس أو حرارة باطن أرض لإمدادها بالطاقة.

يُضاف إلى ذلك، كما أوضح فرانسيس كاسنوتا Francis Cucinotta من مركز فضاء جونسون التابع لناسا، في عام 2009، أن التلف الناتج عن الإشعاع بالنسبة للأجسام البشرية حاليًا يجعل من الخطر السفر حتى خلال أقرب جيراننا في الكون. وهذا يتضمن بعثات تستغرق زمنًا أطول إلى القمر، بالإضافة إلى رحلة أقصر إلى المريخ والعودة، والذي قد يتطلّب نحو 18 شهرًا. هذا ما قاله كاسنوتا: «حتى الآن ليس هناك حل لتصميم البقاء في حدود آمنة لمثل هذه البعثة إلى المريخ. وضع ما يكفي من الدروع حول المركبة الفضائية قد يجعلها ثقيلة إلى حد كبير بحيث لا تنطلق، لذلك نحتاج إلى مواد دروع أفضل خفيفة الوزن، وربما نحتاج إلى تطوير تقنيات طبيعية لتقاوم تلف الخلايا الناجم عن الأشعة الكونية»[20]. لو أن الإشعاع الكوني هو بالفعل مشكلة رئيسية بالغة القرب من الوطن لمثل هذه الفترة القصيرة من الزمن، فإنه قد يجعل السفر الفضائي طويل المسافة صعبًا، إن لم يكن مستحيلًا، حتى عندما تكون كل المتطلبات المذكورة سابقًا متوافرة. لو تم وضع كل الأمور في الاعتبار، يبدو لي أنه حتى لو أن عددًا قليلًا من جنسنا البشري كان يرغب في مواجهة مثل هذه المخاطر، فإن التكلفة الصافية لمثل هذا المشروع سوف تضمن أن أغلبنا، بالإضافة إلى معظم نسلنا، سيكون عليهم بالضرورة البقاء على وطننا الكوكب. بعبارة أخرى، حاليًا لا توجد ظروف جولديلوكس للسفر عبر الفضاء مسافة طويلة.

بالنسبة لي ولكثيرين آخرين، فإن السؤال الجوهري أكثر من غيره الذي يتعلَّق بمستقبلنا كبشر هو ما إذا استطاع سكان كوكب الأرض التعاون لإنجاز هدف الوصول إلى مستقبل مستدام تقريبًا في تناغم معقول، أو ما إذا كان التقسيم الكبير الراهن للطاقة في المجتمعات وبينها، سوف يلعب دور الفوضى العامة بمثل هذه التدخلات. إذا وضعنا هذا في اعتبارنا، مع نظام طاقة مستجدة، قد تكون الموارد محدودة أكثر مما هي عليه في المجتمعات الغنية اليوم، والسؤال الرئيسي هو ما إذا كان كل البشر سيكون في استطاعتهم العيش في حدود جولديلوكس معقولة. بالإضافة إلى ذلك، يتساءل المرء حول ما إذا كان كل سطح الكوكب الضروري للطاقة وإنتاج الغذاء سيكون فيه مجال لمناطق للأنواع البرية لكي تعيش وتزدهر.

في هذا السياق قد يكون من الجدير بالاهتمام تذكر الفكرة التي ذُكرت في الفصل الخامس بأن البشر مجهَّزون وراثيًا لحصد المزيد من المادة والطاقة أكثر مما يحتاجونه للبقاء والتناسل[21]. لو أن ذلك كان هو الأمر بالفعل، هل البشر يميلون وراثيًا للمحافظة على حدود جولديلوكس تتجاوز حد وجودهم على الأرض؟ لو أن الأمر كذلك، هل نستطيع ترويض هذه الغريزة البيولوجية بمساعدة الثقافة؟ وما الظروف الاجتماعية التي قد تدعم مثل هذه الأنواع من السلوك؟ بالإضافة إلى، أنه ليس من الواضح إلى حد كبير ما تعنيه الاستدامة بالفعل، لأنها تعتمد إلى حد كبير جدًا على ما يرغب الناس في المحافظة عليه. بينما ليس هناك إجماع حول هذه القضايا اليوم، فإن الأقل وضوحًا حتى هو ما سترغب أجيال المستقبل في المحافظة عليه. ورغم ذلك فإن البشرية عليها البقاء على الأرض الطيبة بأي عون، وقد تكون تلك هي القضية الأكثر جذرية في أننا جميعًا، بما في ذلك أطفالنا، علينا توطين أنفسنا على ذلك.

في البيولوجيا، تعمل عملية الاستبعاد غير العشوائي على جيل واحد فقط. طالما ينجح النوع في إنتاج نفسه بشكل ناجح، لن يتم استبعاده بشكل غير عشوائي. وفي الوقت الراهن، نحن نواجه موقفًا حيث بالنسبة لأغلب الناس على كوكبنا يكون هذا النوع من التناسل مضمونًا تقريبًا، حتى رغم أن الظروف التي يواجهها أطفالنا تتغير بدرجة هائلة. مشكلتنا أن علينا أن نجهز أنفسنا لموقف قد يصبح ملحًّا عبر أكثر من جيل واحد. هل سنكون قادرين على توليد هذه الرؤية الثقافية على المدى البعيد بين أعداد

كبيرة بما يكفي من الناس في موقف ستكون فيه عادة هبة في نتائج المدى القصير، في كلٍ من الاقتصاد والسياسة؟ بعبارة أخرى، هل سنكون قادرين على ترويض كلًا من الغرائز البيولوجية والتدبيرات الاجتماعية بمساعدة الثقافة؟

والأكثر مباشرة؛ قد يكون الإطار النظري الذي تم تطويره في هذا الكتاب قادرًا على المساهمة في إعادة توحيد علمَيْ الطبيعة والاجتماع. في المحاضرة الشهيرة لريد في جامعة كمبردج في عام 1959، جذب تشارلز بيرسي سنو Charles Percy Snow الانتباه إلى الانفصال الكبير بين ما سمَّاه «ثقافتان»: العلم والإنسانيات. قدّمَ وجهة نظره بالتفصيل في كتاب بعنوان «الثقافتان والثورة العلمية»، الذي نُشر في العام نفسه.في الصفحة 16 كتب ما يلي:

> «في أوقات كثيرة طيبة، كنت موجودًا في اجتماعات تضم الناس الذين، بمعايير الثقافة التقليدية، يُظن بأنهم متعلّمون إلى درجة عالية، والذين كانوا يعبّرون باستمتاع كبير عن شَكّهم في أمّية العلماء. ومرة أو مرتين غضبت وسألت الزملاء عن عدد من يمكنه منهم شرح القانون الثاني في الديناميكا الحرارية. كانت الإجابة غير متأكدة: وكانت سلبية أيضًا. ورغم ذلك كنت أسأل عن شيء حول المكافئ العلمي لـ: هل قرأت عملًا لشكسبير؟».

كما رأينا، يلعب القانون الثاني في الديناميكا الحرارية دورًا رئيسيًا في المقاربة النظرية التي تتم المدافعة عنها هنا. وأجد أنه لأمر جذاب أن تطبيق هذا القانون، والمقاربة التي يسهم فيها، لكلٍ من التاريخ البشري والطبيعي قد يساعدان على عبور الفجوة بين الثقافتين.

مهما يحدث، آمل أن أكون قد أوضحت أن مبدأ تعقب تدفقات الطاقة خلال المادة في حدود جولديلوكس معينة، والذي يؤدي إلى ظهور واندثار التعقد على كل المستويات، لا يبسط فقط وجهة نظرنا عن الماضي الكبير، لكنه يساعد أيضًا في تفسير القضايا الرئيسية التي سيكون على الإنسانية أن تواجهها في المستقبل القريب.

ملحق

ملخص التسلسل الزمني للتاريخ الكبير

ABB: بعد الانفجار الكبير.

BP: قبل الحاضر (في الـ BP يتم تعريف الحاضر عادة مثل CE 1950).

CE حقبة مشتركة Common Era = AD ميلادية Anno Domini.

س سنة ماضية: س سنوات قبل 2010 (تاريخ نشر هذا الكتاب).

❁❁❁

13,7 مليار سنة قبل الآن الانفجار الكبير.

أول 4 دقائق بعد الانفجار الكبير: ظهور الجسيمات الأولية، البروتونات، النيوترونات، الإلكترونات، وجسيمات النيوترينو.

4 – 15 دقيقة بعد الانفجار الكبير: التركيب النووي للديوتريوم، الهليوم، الليثيوم والبيريليوم.

50 ألف سنة بعد الانفجار الكبير: الانتقال من دهر الإشعاع إلى دهر المادة.

400 ألف سنة بعد الانفجار الكبير: تحييد الكون وظهور خلفية الإشعاع الكوني.

من 700 مليون إلى 2 مليار سنة ABB: ظهور المجرات والنجوم.

9,1 مليار سنة = ABB

4,6 مليار سنة قبل الآن: ظهور مجموعتنا الشمسية.

4,6 – 4,5 مليار سنة قبل الآن: ظهور الكواكب الداخلية.

4,5 – 3,9 مليار سنة قبل الآن: حقبة هاديس، بما في ذلك عمليات القصف الكوني.

3,8 – 3,5 مليار سنة قبل الآن: ظهور الحياة.

3,4 مليار سنة قبل الآن: أقدم رواسب طحلبية stromatolites وظهور التمثيل الضوئي.

2 مليار سنة قبل الآن: ظهور الأكسجين الحر في الغلاف الجوي والخلايا حقيقية النواة.

540 مليون سنة قبل الآن: الانفجار الكمبري لأنواع الحياة المعقدة.

400 مليون سنة قبل الآن: الحياة تنتقل إلى اليابسة.

200 مليون سنة قبل الآن: ظهور الحيوانات حارة الدم.

63 مليون سنة قبل الآن: تصادم كويكب يُتوقع أنه أنهى على هيمنة الديناصورات ووفر مجالًا للثدييات.

4 مليون سنة قبل الآن: ظهور القرد الجنوبي ثنائي القدم.

2 مليون سنة قبل الآن: ظهور الإنسان المنتصب القامة.

200 ألف سنة قبل الآن: ظهور الإنسان الحديث.

10 آلاف سنة قبل الآن: ظهور الزراعة.

6 آلاف سنة قبل الآن: ظهور أول الدول.

منذ 500 سنة مضت: أول موجة عولمة.

منذ 250 سنة مضت: الموجة الثانية من العولمة (التصنيع).

منذ 60 سنة مضت: الموجة الثالثة من العولمة (المعلوماتية).

ملاحظات

مقدمة وشكر

1. خلال برنامج أبولو، راقبت كل حالات البث الحي مع أبي، الذي توفي للأسف عام 2002. في الأسبوع الأخير من ديسمبر عام 2006، كان من حسن حظي أنني زرت مركز كينيدي الفضائي مع ابني لويس، الذي كان يهتم إلى أقصى درجة بالصواريخ ورحلات الطيران الفضائية التي يوجد عليها بشر. ولقد تمتعت تمامًا بمشاركته في رؤية كل أجهزة وعروض أبولو التاريخية هذه التي كنت أعرفها فقط من التلفزيون، والصور الفوتوغرافية والأفلام. ولقد غيّرَت هذه الرحلة إدراكي الوجداني مقارنة بما تشكل لديَّ وأنا طفل هولندي نمى في الستينيات وأواخر السبعينيات بينما كان برنامج أبولو يتم تنفيذه في مجال أسطوري تقريبًا بعيدًا عن الفهم الشخصي مقارنة بمن تشكل كمراهق بأحداث وقعت في مكان يمكن زيارته.

دعمت هذه التجربة من جديد مشاعري القوية بحيث أصبح في استطاعتي وصف أو تلخيص المواقف بشكل أفضل، وليس هناك ما يتفوّق على التجربة الشخصية. وباعتباري متخصّصًا في التاريخ الكبير، فإنني أندهش، من ثم، لمدى تغير تقديراتي لو كان لديَّ مشاركات مباشرة في تلك الأبحاث. ويبدو أن تلك هي تمامًا حالة الأرصاد الفلكية والجغرافية والبيولوجية، كما هو حال البحث التاريخي والعمل الميداني الأنثروبولوجي الأكثر تقليدية. نتيجة لذلك، شعرت بإلحاح مستمر لأن أسافر وأزور أماكن بالإضافة إلى فحص أنواع من الأحداث بنفسي، والتي كان من غير الممكن على أي حال، بالطبع، الوصول إليها وأنا أعالج التاريخ الكبير.

خلال السنوات الـ 40 الماضية، أنجزت قراءات كثيرة حتى إنني قد أكون أغفلت الإشارة إلى حكايات معينة كانت مصدرًا لمعلومات مهمة. باستثناء المعالجة المنهاجية الواعدة لمقاربتي النظرية، أزعم فقط بوجود بعض الابتكار لوجهات نظر عندما يتم ذكرها بشكل خاص باعتبارها كذلك. كل المعلومات الأخرى تم الوصول إليها من مصادر أخرى. وحتى عندما أزعم الابتكار، فإن هذا يعني فقط أنني أظن أنني ابتكرتها بنفسي. وقد يكون الأمر أن آخرين سبقوني، وأدعو كل القراء أن يشيروا إليّ عندما تكون الحالة كذلك.

2. هناك الكثير من المراجع حول التأثير الاجتماعي الهائل لصورة بزوغ الأرض. انظر:
MacLeish (1968). Goldberg (1991), pp. 52-7. Allen, Tainter & Hockstra (2003)m pp.

1-2, «50 years in space: My favourite photo», p. 40 and Poole (2008).

خلال سنوات بحثت في جوانب مثيرة للاهتمام في هذه الصورة الأكثر شهرة، بما في ذلك مسألة مَنْ الذي التقطها بالفعل (بيل أندرس) وأيضًا ما حدث خلال الحادث القصير ولكن المركّز لرحلة طيران أبولو 8 القمرية، انظر Spier (2002). في مايو 2009، خلال زيارتي الثانية لمركز فضاء كينيدي، عرفت أن الرمز الرئيسي في متجره الفضائي للبضائع للاحتفاء بـ (أبولو 40 سنة) يصوّر مشهد بزوغ الأرض وليس رائد فضاء على سطح القمر، هذا رغم أن الهدف الرئيسي للرئيس كينيدي وضع إنسان على القمر وإعادته آمنًا إلى الأرض. من الواضح، أن استعادة المنظور الجديد للأرض كان النتيجة الأكثر أهمية لناسا.

3. Böttcher in Meadows (1972), p. 7.
4. Böttcher, King, Okita et al. in Meadows (1972), p. 15.

من المثير للاهتمام، أن النسخة الأمريكية لعام 1972 تنقصها هذه المقدمة.

5. أطلق الفيلسوف الإسباني خوسيه أنتونيو أورتيجا يي جاسيه (1883-1955) على هذا النوع من الفهم yo soy yo mis circunstancias (إنه أنا وظروفي). بعبارة أخرى، يمدني التاريخ الكبير بفهم أفضل لنفسي وبظروفي.
6. مدخلي الوحيد لمطبوعات الكيمياء الحيوية هو

Ledeboer, Kroll, Dons et al. (1976).

7. أغلب نتائج بحثي في بيرو يمكن العثور عليها في

Spier (1994& 1995).

8. المزيد حول تاريخ جامعة أمستردام لمنهج التاريخ الكبير يمكن العثور عليه في

Spier (2005b).

ملاحظات الفصل الأول

1. لدى دافيد كريستيان ثلاث جنسيات: البريطانية، والأمريكية والأسترالية.
2. رسالة دونالد أوستروفسكي لجماعة H-World Discussion في 15 إبريل 2005، كجزء من المناقشة وول «لماذا تعتبر دراسة التاريخ مهمة؟» انظر: / www.h-net.org /~world وانظر أيضًا Os-trowski (1989 & 2003). وفي خطاب للمجلة العلمية نيو ساينتست، في يونيو 2007، يقترح توماس شيب الحجة نفسها على وجه الدقة تقريبًا.
3. أتساءل غالبًا حول ما إذا كان من الممكن العثور على مرايا بعيدة في السماء، قد تعكس الضوء المنبعث من الأرض منذ زمن طويل مضى. لو أن هذه المرايا موجودة، قد تتيح لنا من حيث المبدأ رؤية صور لماضينا الخاص (في الوقت الحالي، بالطبع). في 2007، قال إفان سمنيوك إن علماء الفلك يستخدمون الآن انعكاسات انفجارات السوبرنوفا على سحب الغبار في المجرات لتتبعها، حيث مر الضوء المباشر منها إلى الأرض منذ مئات السنوات.
4. من أجل مراجع علمية لفكرة أن كل معرفتنا عن الماضي توجد في الحاضر، انظر ,Walsh (1951) p. 18, Bloch (1984), p. 23ff. and p. 48ff, Collingwood (1993), pp. 251-2 and p. 364 Barrachlough (1955), p. 23 and Wessel- انظر أيضًا. فقدم بوب مور هذه المراجع مشكورًا).

ing (1995), p. 20.وبالنسبة للشروح التفصيلية لأوستروفسكي، انظر Hurwitz & Ostrows-ki (1983) and Ostrowski (1989). ومن أجل مناقشات حول المشاكل الرئيسية في إعادة بناء التاريخ، انظر Barraclough (1955), Bloch (1984), Carr (1968), Kitson Clark (1967), Collingwood (1993), Huizinga (1995), McNeill (1986b), Slicher van Bath (1978), Tosh (1992), Walsh (1951) and Wessling (1995). ولقد صاغ مارك بلوش حَلّه لهذه المشاكل كما يلي (p. 71 ,1984): «كل كتاب تاريخي يستحق هذا الاسم يجب أن يتضمن فصلًا، أو الأفضل سلسلة من المقاطع تُدرج عند نقاط التحول في التطور، والتي قد تأخذ تقريبًا عنوان: «كيف يمكنني معرفة ما أرغب في قوله؟». وأنا مقتنع أن حتى القارئ غير المختص سيجد سعادة ثقافية فعلية في اختبار هذه الارتباكات».

5. McNeill (1986b), p. 5.

6. لسوء الحظ، لا تتضمن حكاية بريسون التاريخ البشري.

7. ليست هذه على أي حال وجهة نظر أصيلة. الكثير من المتخصصين، ومنهم وليام مكنيل (قبل وبعد 1986) ودافيد كريستيان (2004)، جادلوا في هذه الأفكار العامة.

8. ليس هذا، لسوء الحظ، قول دقيق. لا يمكن لأي أحد أن يسبر غور الماضي عائدًا في الزمن، لأن الماضي انتهى إلى الأبد. ويستخدم علماء الفلك أحيانًا جملًا أخرى مثيرة للارتباك، مثل «هذه المجرة على بعد 1,5 مليار سنة ضوئية عنا». الشيء الوحيد الذي يمكننا التأكد منه تمامًا هو أنها ليست هناك الآن وليست بالتأكيد في الاتجاه الذي نرصدها فيه. كان الكسندر فون هامبولدت منتبها بالفعل إلى ذلك. وكما صاغ هذا الأمر في:(1845), p. 153 «مع ذلك، تنتمي هذه الأحداث، بالنسبة لحقيقتها التاريخية، إلى فترات أخرى في الزمن أكثر من انتمائها إلى الفترة التي ظهرت خلالها ظاهرة الضوء لأول مرة لسكان الأرض: إنها تصل إلينا مثل أصوات الماضي».

9. من وجهة نظر منفصلة تمامًا، قد يقول المرء، من ناحية المبدأ، أنه لا سبب لضرورة تطبيق المبادئ العلمية لتحليل البيانات في الحاضر لإعادة بناء أي حكاية للأحداث التي لعلها قد حدثت ذات مرة، وقد يقرر المرء، مثلًا أن يقبل حرفيًا ما تقوله النصوص المقدسة بالنسبة للماضي. قد لا يكون هذا علميًا بالمعنى الراهن للمصطلح، لكنني لا أرى أي سبب لأن يكون ذلك قضية طالما لا يهتم المرء بالعلم.

10. في الهندوسية، لسنا، في الحقيقة، سلالات ولكن مجرد إعادة تدور بلا نهاية. ويرى بعض العلماء الشيء نفسه بالنسبة لعلم كون الانفجار الكبير، فقبل الانفجار الكبير كان هناك انسحاق كبير، سبقه انفجار كبير آخر مع تمدد لاحق له..إلخ. لسوء الحظ، ليس لدينا أي دليل علمي يدعم أو يدحض مثل هذه الأفكار. ومن ثم، فإنني أفضل البدء في التاريخ الكبير بالانفجار الكبير.

11. CE تعني الدهر العادي Common Era. وهو مرادف لمصطلح AD أي Anno Domini (عام المسيح). ويمثل استخدام تعبير الدهر العادي محاولة لتعريف الزمن من دون الإشارة المباشرة إلى أحداث دينية. ويعني التعبير BCE تعبير BC (قبل ميلاد المسيح).

12. CF. Moore (1997).

13. لا يتعلق الأمر، من ثم، بتزامن أن الولايات المتحدة كانت تنتج تاريخًا بشريًا بينما ظهر تاريخ العالم في المدارس الأمريكية الثانوية نتيجة الهجرة من حول العالم. أدى هذا إلى مناقشات شرسة حول

تأسيس معايير قومية لتاريخ العالم، تركز، من بين أمور أخرى، على التساؤل حول ما إذا كانت هذه الدراسات العالمية قد تنتج مواطنين أمريكيين «صالحين». CF. Crabtree & Nash (1994), Ravitch & Schlesinger Jr. (1996), Thomas (1996) and Woo (1996)

14. خاصة علماء الأنثروبولوجيا الثقافية كانوا يشعرون بالضيق تجاه التأكيد على معرفة القراءة والكتابة كتعريف لما يتألف منه التاريخ. وربما يكون التعبير الأفضل عن ذلك في كتاب مهم لعالم الأنثروبولوجيا الثقافية الأمريكي الراحل إريك وولف Eric Wolf: Europe and the People without History (1982).

15. انظر Smail (2005 & 2007). ولقد نشر الأسقف أوشر حسابه عن لحظة الخلق في «سجل العالم»، وهو، في الحقيقة، تاريخ بشري من بداية الزمن حتى 70 ميلادية. ويتساءل المرء حول ما إذا كانت الفترة الزمنية للتاريخ التوراتي قد أوحى بها بعض المعارف التاريخية عن طول الفترة التي كانت قد ظهرت خلالها بالفعل مجتمعات الدولة المحيطة في مصر وبلاد ما بين النهرين. من الواضح، مع استثناء الأيام الخمسة الأولى، أن الحكاية التوراتية بكاملها تقدم تاريخًا يركز على البشرية، مع تأكيد خاص على جماعة مفترض أنها خاصة. وهذه بالأحرى مقاربة شائعة في قصص النشوء ما قبل العلمية.

16. Leopold von Ranke: «A Fragment from the 1860`s,» in Stern (1956). النسخة الألمانية الأصلية: Leopold von Ranke: «Vorwort» in *Weltgeschichte, Neunter Theil, zweite Abtheilung*, pp. XV–XVI. ولقد جعلني دافيد كريستيان أنتبه إلى هذا الاقتباس.

17. في «التاريخ الطبيعي للدين» لهيوم، يسعى الفيلسوف العظيم إلى تتبع أصول الدين على هيئة الشرك. ورغم ذلك لم يتصف هيوم بالوضوح في ما يخص المدى الزمني الذي حدثت خلاله هذه التطورات («أكثر من 1700 سنة»). تم اعتبار هذا الكتاب مثير للخلاف إلى حد كبير خلال حياته وتم نشره بعد وفاته في العام 1757.

18. Barraclough (1955). P. 17ff. على سبيل المثال، وصف المؤرِّخ الاقتصادي البريطاني باتريك أوبرين الموقف في السبعينيات كما يلي: «فقط منذ أربعة عقود تألفت أقسام التاريخ في بريطانيا بالفعل بشكل رئيسي من متخصصين عملوا في بلادهم الخاصة، أثنت عليهم قلة منعزلة إلى حد ما للتعليم قبل التخرج وللإشراف على الدراسات العليا في عالم أجنبي – والذي كان يتضمن في تلك الأيام قارة أوربا بالإضافة إلى إمبراطورية المملكة التي مُنحت الاستقلال» (2008, p. 1).

19. Von Humboldt (1997), p. 340

20. انظر Von Humboldt (1995) and *Kosmos*: *Entwurf einer physischen Weltbeschreibung* (تم نشره بين 1845 و1862)، وتُرجم إلى الإنجليزية باسم *Cosmos* (1997), pp. 55–6 and pp. 79–80.

21. لم يكن شامبرز وأينشتاين ولوفلوك محظوظين للعيش عالة على ميراث لكنهم حصلوا على أموالهم بطرق أخرى وهم ينجزون أعمالهم العلمية.

22. Von Humboldt (1995), p. IX تمت صياغة وجهات نظره أيضًا بواسطة الثورة الفرنسية، بما في ذلك جوانبها العقلية والعاطفية.

23. تبعًا لـ Von Humboldt (1995), p. 18: «حصلت على سلطة الاستخدام الحر لأدواتي الفيزيائية

والجيوديسية، بحيث يمكنني في كل الأملاك الإسبانية إنجاز أرصاد فلكية، وقياس ارتفاع الجبال، وجمع أي نبات ينمو على الأرض، وتنفيذ أية مهمة تؤدي إلى تطوير العلوم».

24. من المثير للدهشة، أنه رغم أن الموجة الأولى من الثورة الصناعية جاءت خلال حياة فون هامبولدت، لا يبدو أن هذا قد أثّر عليه بشكل مباشر كشاب، عندما صاغ وأنجز طموحاته العلمية. على سبيل المثال، في كتابه «رواية شخصية»، يحكي فون هامبولدت عن أسفاره في أمريكا الإسبانية، ولم يذكر أي محركات بخار أو تأثيراتها، مع أنه كرّس جزءًا كبيرًا من اهتمامه للعلم المعاصر. ربما ارتبط ذلك بحقيقة أن الثورة الصناعية لم تكن قد حدثت بعد في هذا الجزء من العالم، بينما في عام 1799، عندما انتهى من سياحته، ربما لم تكن هذه التأثيرات قد باتت واضحة في الجزء من القارة الأوربية الذي كان تحت الهيمنة الفرنسية.

25. في ذلك الوقت، لم يكن هناك فصل بين علماء البيولوجيا وعلماء الجيولوجيا. وبينما، على سبيل المثال، كان داروين وليل يطلقان على نفسيهما علماء تاريخ الطبيعة، نطلق عليهما الآن، عالم الجيولوجيا وعالم البيولوجيا. مع ذلك، فبالنسبة لداروين وليل كان هذان الجانبان من الطبيعة متشابكين إلى حد كبير. ومن المثير للاهتمام، أن ليل قد أصبح لاحقًا بطلًا ثقافي رئيسي بين علماء الجيولوجيا، بينما قلت أهمية اهتماماته البيولوجية. والعكس حدث مع داروين. بعبارة أخرى، فإن تكوين الأفرع العلمية الأكاديمية أعطى تصورات محدودة عن هؤلاء الاختصاصيين أكثر مما كانوا عليه بالفعل. وحاليًا، يمكننا أن نصفهم بأنهم مفكرون عابرون للأفرع العلمية. ولم يكن لهذا الوصف أن يعني شيئًا بالنسبة إليهم، لأن هذه الأفرع العلمية لم تكن قد تحددت بعد بالوضوح الذي هي عليه حاليًا.

26. تبعًا لـ www.monticello.org، كان جيفرسون قد تعرف على كتاب بارون دهولباش «نظام الطبيعة» في فرنسا بين 1784 و1789. ولا يبرهن ذلك، بالطبع، على أن جيفرسون عرف هذا الكتاب في 1776، عندما حرر «بيان الاستقلال، الذي أعلن عنه على بعد 13 ميل شمال المكان الذي كتبت فيه هذه الفقرة.

27. انظر .Descarts (1977) and Kant (1755 & 1963) ولقد استخدمت هذه الوثائق كما تم نشرها في مواقع متعددة على شبكة المعلومات في لغاتها الأصلية وفي الإنجليزية.

28. من أجل *Enzyklopadie der philosophischen* لهيجل، انظر www.zeno.org.

29. 10–Chambers (1994), pp. 306. وفي 2–Cosmos (1845), pp. 71، يرى فون هامبولدت أن وصف كل الأشياء يحتم دائمًا وصف تاريخها. وبكلماته: «شكلها هو تاريخها».

30. Secord (2000) *Victorian Sensation*. وانظر أيضًا Secord's *Introduction* in Chambers' *Vestiges* ذلك هو الملخص الذي أقدمه لنطاق كامل من التشويقات التي ذكرها سيكورد.

31. كان تشارلز داروين منتبهًا جدًا لأعمال فون هامبولدت، وليل، وتشامبرز وآخرين، وكان أغلبها يثير إعجابه.

32. Wells (1930), p. VI

33. كانت هناك محاولات لإنتاج وجهات نظر شاملة كاملة الشمول، مثل التصور الرائد في كتاب المدرس في المدرسة الألمانية كيس بوك «وجهة نظر كونية: الكون في 40 وثبة»، 1957. أصبح أساسًا للكتاب المعروف الأكثر جودة وفيلم فيليب وفيليس موريسون «قوات العشرة: حول الحجم النسبي للأشياء في الكون» الذي تم إنتاجه في أواخر الستينيات وفي السبعينيات. رغم أنه لا يجب اعتبار هذه

المنتجات -هناك تنويعات كثيرة على هذه الفكرة الرئيسية الآن- أنواعًا من التاريخ الكبير (لأنها لا تتعامل مع التاريخ)، ربما كان لدى مؤلفيها هدف مماثل جدًا في تفكيرهم.

34. فسَّر توماس كون (1970) مفهومه للنماذج الإرشادية العلمية في كتابه المشهور «بنية الثورات العلمية». الفكرة الأساسية هي أن العلوم الطبيعية توحِّد بينها النظريات العامة التي يوافق عليها أغلب الممارسين. ويتضمن ذلك في الوقت الراهن علم كون الانفجار الكبير، وتكتونية السطح والتطور الداروني. ويتم إجراء أغلب الدراسات من خلال هذه النماذج الإرشادية. وعندما يتم اكتشاف الكثير من الشذوذات، قد تكتسب نظرية منافسة جديدة مكانتها، مما قد ينتج عنه ثورة علمية. وعلى العكس، لم توجد بعد داخل العلوم الاجتماعية نماذج إرشادية كاملة الشمول.

35. من أجل ثورة كرونومترية انظر Christian (2009a&b)

36. انظر، Belgium: Verburgh (2007), Canada: Reeves (1991), Colombia: Vélez (1998), France: Morin and Kern (1993), Reeves, Rosnay, Coppens & Simonnet (1996 & 1998) and Nottale, Chaline & Grou (2000), Germany: Lesch & Zaun (2008), The Netherlands: Drees (1996 & 2002), Spier (1996 , 1998 & 1999a&b) and Lange (1997), Russia: Neprimerov (1992) and Nazaretyan (2004), United States: Chaisson (1977, 1981, 1987, 1998a&b, 2001, 2003, 2004, 2005, 2008 & 2009), Asimov (1987), Kutter (1987, Swimme & Berry (1992), Adams & Laughlin (1999), Morowitz (2002), Gonzalez & Richards (2004)، وهذا الكتاب محاولة للربط بين التاريخ الكبير والتصميم الذكي، Primack & Abrams (2006), Stokes Brown (2007), Gehrels (2007), Genet (2007), Genet, Genet, Swimme, Palmer & Gibler (2009), Potter (2009).

37. انظر .W. H. McNeill (1992, 1998a & 2001) وفي 1996، عندما حصل ماكنيل على جائزة إراسموس في أمستردام، تبرّع مشكورًا بالغ بنصف مال الجائزة إلى مشروعنا عن التاريخ الكبير.

38. انظر .Mears (1986 & 2009) كل من كان يدرس من بيننا التاريخ الكبير وجد اهتمامًا كبيرًا بين الطلاب. وفي كل عام، أخبرني الكثير جدًا من الطلاب أن منهجنا عن التاريخ الكبير كان أفضل منهج جامعي حصلوا عليه وأنه غيَّر وجهة نظرهم عن العالم بشكل عميق. لتاريخ مختصر لجامعة أمستردام في منهج التاريخ الكبير، انظر Spier (2005b).

ملاحظات الفصل الثاني

1. Monod (1971).

2. أنا متنبه لحقيقة أنه في ميكانيكا الكم يتم النظر لكل شيء باعتباره نتيجة تأثيرات المصادفة. ورغم ذلك لم أفهم أبدًا سبب أن التفاعلات بين الجسَيمات، التي تؤثر إلى حد ما على تأثيرات المصادفة هذه وتقوم بتعديلها بالتالي إلى حد ما، لا يجب وضعها في الاعتبار كجزء من الصورة.

3. التردد بين علماء الاجتماع في استخدام كلمة «منظومة» قد يكون بالأحرى رد فعل لمقاربة المنظومات الاجتماعية الساكنة التي قدّمها عالم الاجتماع الأمريكي تالكوت بارسونس، والتي كانت سائدة في الخمسينيات والستينيات.

4. في «بنية التاريخ الكبير»، تم تعريف النظام باعتباره «نمطا منتظمًا لكنه غير مستقر في نهاية الأمر

له ثبات زمني» Spier (1996), p. 14. وفي كتابه «كون ذاتي التنظيم» 1983، طور إريك جانتش مصطلح «بنية العملية process-structure»، الذي، كما أرى، ينقل معنى مشابه جدًا للنظام. عندما كنت أكتب «بنية التاريخ الكبير»، لم أكن منتبهًا لكتاب جانتوش.

5. Chaisson (2001), p. 234

6. يتم غالبًا تعريف الطاقة على أنها القدرة على إنجاز جهد أو القدرة على بذل قوة عبر مسافة (انظر Trefil & Hazen 2001, p. 232). ويؤدي ذلك إلى السؤال حول ماهية العمل. من وجهة نظري، فإن كلًا من الجهد وتأثيرات القوى يتم تغييرها ببساطة في المادة.

7. Smil (2006), p.1

8. ربما يكون التعريف الأكثر قبولًا على نطاق واسع ل «التعقد» هو الذي تم تقديمه لما يسمى نظم التكيف المعقدة (وهي بشكل أساسي كل أنواع التعقد القائمة على الحياة)، وهو بمصطلحات محتواها المعلوماتي، أي أقصر وصف ممكن له، انظر Gell-Mann (1994), p. 23ff. ولا يبدو أن هذا التعريف مفيد في وصف كل أنواع التعقد، وأغلبها نظم معقدة غير حية وغير متكيّفة. لو حاول المرء وصف نوع من التعقد بكل جوانبه بمصطلحات المعلومات، ما أسرع ما يكتشف عدم وجود نهاية واقعيًا. إلى أي حد يجب أن نصل؟ هل يجب الوصول إلى وصف كل الحالات الكمّية لكل لبنات البناء الأصغر، وكل مواقعها، وكل حركاتها...إلخ؟ بعبارة أخرى، أي وصف لأي نوع من التعقد على المقياس الأكبر بمصطلحات المعلومات ستكون لها صفة كسورية مفرطة.

9. Cf. Gell-Man (1994), Chaisson (2001), pp. 12-13. لوجهات نظر شاملة تقليدية لظهور لملم دراسات التعقد، انظر Waldrop (1993), Lewin (1993), Gell-Mann (1994), Kauffman (1993&1995).

10. مصطلح «الاستقلال النسبي» تم ابتكاره بواسطة عالم الاجتماع Norbert Elias (1978a), p. 32ff. وفي سلسلة كتبه «دروس في الفلسفة الوضعية»، استخدم أوجست كونت الحجة التي أصبحت تعرف بـ «الاستقلال النسبي» لتثبيت علم الاجتماع باعتباره علمًا جديدًا للمجتمعات، لا يمكن تقليصه إلى الفيزياء أو البيولوجيا.

11. خلال مؤتمر معهد سانتا في (SFI) في هاواي في مارس 2008، حول التعقد في التاريخ، قدمت هذه الأفكار حول كيفية تعريف المستويات المختلفة للتعقد. في المقابل، قال رئيس المعهد جيوفري ويست إنه ليس لدى المعهد أي مقاربة مشتركة حول كيفية تعريف المستويات المختلفة للتعقد. ويعبّر ويست عن مقاربتهم الراهنة لدراسات التعقد كما يلي: «نحن نفعل ذلك فقط، مثل الجنس». ولقد حفّزَته هذه المناقشة على وضع هذه المسألة على أجندتهم.

12. هذا هو سبب أن مقاربة الميم meme كما قدمها ريتشارد داوكنز في عام 1976، كانت، من وجهة نظري، ممارسة عقيمة في العبث.

13. Cf. Adams & Laughlin (1999).

14. Smil (1999), p. X.

15. لكثافة القوة انظر Chaisson (2001), p. 134, (2008 & 2009).

16. منذ بضع سنوات، أوضح لي فاكلاف سميل أن هذا لم يكن تبصّرًا جديدًا بكامله. وتبعًا لكتاب أنجلبرت برودا «تطور عمليات الطاقة الأحيائية» في 1975، أشار سميل إلى كتابه «علم الطاقة

العام» في عام 1991 إلى أن «ما يُطلق عليه» كثافات الطاقة لدى الكائنات الحية، بما في ذلك طلاب المدارس وبكتيريا معينة، هو أكثر بكثير من كثافة طاقة الشمس، انظر Broda (1978), p. 41, and Smil (1991), p. 63..وتمّ تعريف كثافة الطاقة لدى سميل بالطريقة نفسها لتعريف كثافة الطاقة لدى شايسون، بينما أطلق عليها برودا «إنتاج الطاقة لكل وحدة وزن». ورغم ذلك، وفي ما لا يشبه شايسون، لم يضع هؤلاء الباحثون جدولًا عامًا لكثافات الطاقة أو لإنتاج الطاقة لكل وحدة وزن بالنسبة لتطور التاريخ الكبير/ الكون في مجمله أو إبداع هذه التبصّرات بالطرق الجديدة كما فعل شايسون. كتب لي إريك شايسون بأنه لم يكن منتبهًا لهذه الأعمال، وأنه نشر أولًا حساباته في كتابه The Life Era (1987), p. 253ff. وتلك هي الحال بوضوح لدى عدة اختصاصيين اتبعوا بشكل مستقل مسارًا مشابهًا، وهو ما أعطى قوة لفكرة أن هذه المقاربة قابلة للتطبيق.

17. Chaisson (2001), p. 139. في جدوله، قدم شايسون كثافات الطاقة لديه بـ $erg\ s^{-1}\ g^{-1}$، وهو الأمر نفسه في 10^{-4} watt /kg. وفي هذا الكتاب، استخدم نظام SI للوحدات (النظام العالمي للوحدات).

18. Chaisson (2001), pp. 136-9.

19. Chaisson (2001), p. 186.

20. Chaisson (2001), p. 138 يستخدم «كتلة جسم ذكر بمتوسط 70 كيلوجرام»، بينما يفترض أن البشر «يستهلكون عادة 2800 كيلوسعر يوميًا (أو 130 واط على هيئة طعام) لتشغيل الأيض الخاص بنا».

21. تساوي قيمة المقدار عامل 10.

22. تتضمن أرقام شايسون للتاريخ البشري كثافة طاقة 4 وات/ كج للسيطرة على النار انظر *Homo habilis* (2001), pp. 202–3. ولم يقدم أيّ أرقام للسيطرة على النار لدى الإنسان المعاصر. ولنقد ريجندرس انظر Reijnders (2006a) ولقد أشار اختصاصيون مثل ستيفن باين (1982 & 2001)، وجوهان جودسبلوم (1992) وفرانك نيل (2005) إلى أن استخدام البشر للنار كان مصدر طاقة بالغ الأهمية بالنسبة للبشر الأوائل. وفي وقت أكثر حداثة، أدرك شايسون أهمية استخدام النار للمجتمعات الزراعية، ورغم ذلك فإنه يظل من وجهة نظري يقلل من قيمة تأثيرات الطاقة المحتملة للاستخدام المبكر للنار. في بريد إلكتروني في عام 2008، كتب شايسون أن أرقام ريجندرس، من وجهة نظره، كانت بالغة الضخامة. ومن الواضح أن الأمر يحتاج إلى بعض الوقت قبل ترسيخ أرقام ذات مصداقية.

23. Chaisson (2001), p. 201.

24. بالإضافة إلى مكنستنا الكهربائية، يزن ابني البالغ 8 سنوات، لويس، وأنا رقم أدوات ميكانيكية من صنع البشرية (عادة من صنع الإنسان) ومن ثم يتم حساب كثافات طاقتها باستخدام استهلاك الطاقة الذي يقدمه الصُنّاع. ويؤدي ذلك إلى بعض النتائج المدهشة. لمصباح ضوء متوهِّج 40 واط، على سبيل المثال، كثافة طاقة 1600 واط/ كج (وهو أكبر بثمانية مليون مرة من قيمة الشمس)، بينما المصباح الموفّر للطاقة الأكثر حداثة يصل إلى 170 واط/ كج. ونجد أيضًا أن لحاسبي المحمول، على العكس، كثافة طاقة 24 واط/ كج فقط (ورغم ذلك يظل أكثر من أمخاخنا). ومقياس نموذج محرك بخار الهلميوم (1:87) الذي يعمل بالكهرباء (النوع: أمريكي، الصانع باشمان) ثبت أن له كثافة صغيرة مماثلة تصل إلى 23 واط/ كج، بينما أحد القاطرات البخارية التي لم يوجد أضخم

منها في أي وقت، البيج بوي الأمريكية التي يقوم بتشغيلها اتحاد سكك حديد الباسفيك (540 طن، 6200حصان، الحصان = 746 واط، مع افتراض 25 في المائة كفاءة) تصل فقط إلى 35 واط/ كج. وقاطرة كهربائية 1700 في سلسلة سكك الحديد الهولندية الحديثة (86 طن، 44540 كيلواط) وضعها أفضل قليلًا، أي 52,8 واط/ كج، بينما مكافئتها HO للنموذج القياسي Lima يصل إلى نحو 23 واط/ كج.

25. Gell-Mann (1994), p. XIV. لو أنه كان على النقاد توضيح أنه، بفعل ذلك، تصبح المقاربة غير صحيحة، قد يتساءل المرء حول ما إذا كانوا يعرفون أية مقاربات علمية ليس لها مثل هذه المشاكل. قد يأمل المجتمع العلمي في الكمال، ورغم ذلك قد لا نستطيع أبدًا الوصول إليه. وكل العلماء، بما فيهم المؤرِّخين، في الطريق إلى بناء نماذج للواقع، قد لا تختلط أبدًا مع الواقع نفسه، أيًا كان.

26. Chaisson (2001), pp. 143-4.

27. لنوع جديد من قصة جولديلوكس، انظر .Marshall (1998)

28. بالنسبة لي تم اقتراح فكرة تسمية مبدأ جولديلوكس لأول مرة بواسطة دافيد كريستيان في مارس 2003، بينما كنت أعلق على أول مسودة لمقالتي «كيف يعمل التاريخ الكبير». فقد كتب: «نعم، أحب ذلك، والفكرة غير موجودة في نصي. وها هو نوع من مبدأ «جولديلوكس» مطبَّق على التعقد: يجب أن تكون تدفقات الطاقة مناسبة تمامًا. لكن هل تدفقات الطاقة المفرطة هي التفسير الوحيد لغياب التعقد؟ وألا يعتبر الزمن جوهري أيضًا، بمعنى أن بعض الأشياء المعقدة نادرة إحصائيًا ببساطة، لذلك نتوقع أن تستغرق زمنًا لكي تظهر، حسب مبدأ المسيرة العشوائية؟ أردّ بالقول بأنه كان على حق تمامًا، لكنني كنت غير راض عن استخدام مصطلح «مبدأ جولديلوكس» لأنني لم أكن متأكدًا مما إذا كان يمكن للجمهور من مختلف أنحاء العالم أن يفهم هذا المصطلح الأنجلوسكسوني. ومن ثم لم أستخدم هذا المصطلح في مقالتي، التي نُشرت في روسيا. وبعد أن أجريت المزيد من الأبحاث في درجة عالمية قصة جولديلوكس، وبعد أن وجدت أن جمهوري أحبها بشكل متواصل عندما شرحت النظرية بهذه الطريقة -بما في ذلك في روسيا- قررت استخدام هذا المصطلح بشكل منتظم. خلال ذلك، أصبح مصطلح «مبدأ جولديلوكس» أكثر شيوعًا. وبدأ علماء مثل فاكلاف سميل (2006) وبول دافيز (2006) في استخدامه. بالنسبة لدافيز، تعتبر طريقة لتكرار المبدأ البشري الذي صاغه في البداية براندون كارتر في عام 1973 فقدّمَه بالتفصيل جون بارون وفرانك تيبلر (1986). في كتابه في 2007 *Humanity: The Chimpanzees Who Would be Ants* أشار عالم الفلك روسيل جينيه إلى مصطلح «مبدأ جولديلوكس» باعتباره «أحد القوانين العامة للكون» p.24. واستخدمه في وصفه للتاريخ الكوني لكن، وهذا أمر غريب، لم يستخدمه للتاريخ البشري، والذي يعتبر الدافع الرئيسي لكتابه.

29. رغم أن عملية الاندماج البارد أصبحت سيئة السمعة، لم يتم بعد استثناؤها بشكل كامل.

30. لقد صغت مصطلح «مبدأ جولديلوكس» في 25 يناير 2007، بينما كنت أتأمل في كيفية التعامل مع ظهور التعقد في نهاية الفصل الثالث. ولمدة أربعة أعوام تقريبًا، كنت منتبهًا لقصور في نظريتي، أي الإجابة عن سؤال عن سبب أن حواف نُظم المادة تبدو مواقع خاصة جيدة لظهور تعقد أكبر. في ذلك اليوم الثلجي في نورث هيلز، في بنسيلفانيا، أدركت أن هذا المفهوم قد يحل الكثير من هذه المشاكل.

31. انظر .Spier (2008) على سبيل المثال، شارك عالما فلك في 2004، هما إريك شايسون وتوم جيرلس،

في هيئة تاريخ كبير خلال المؤتمر السنوي للجمعية التاريخية في بوثباي هاربور، في مين. وفي روسيا، تم تنظيم مؤتمرات ما بين الأفرع العلمية عن التاريخ الكبير في جامعة بلجورود سات في عام 2004 (مؤتمر: عمليات التنظيم الذاتي في التاريخ الكبير)، وفي جامعة دبونا الدولية في عام 2005 (مؤتمر دولي حول التنظيم الذاتي في التاريخ الكبير). وفي مارس عام 2008، نظم معهد سانتا في مؤتمرًا حول نظم التفكير بالتكيّف المعقد في التاريخ في هاواي، بينما تم تنظيم هيئة مماثلة في موسكو في عام 2009 (هيئة التطور الكبير: التراتبية، والبنية، والقوانين، والتنظيم الذاتي في المؤتمر الدولي الخامس «التراتبية والسلطة في تاريخ الحضارات»). ولقد شاركت في كل هذه المؤتمرات. وفي أمستردام، نظمنا مؤتمرًا ليوم واحد عن هذا الموضوع الرئيسي في عام 2004 مع مشاركات من اختصاصيين يتراوحون من عالم فلك إلى عالم اجتماع. وكانت تلك اللقاءات من بين أكثر اللقاءات إثارة التي حضرتها.

ملاحظات الفصل الثالث

1. حكايتنا الحالية عن تطور الكون تقوم على قرون من الملاحظات والتفسيرات الفلكية بمساعدة مفاهيم علمية، هي بدورها، تطورت عن الكثير جدًا من الدراسات العلمية حول الطبيعة وموطننا الكوكب. وقد أتاح كل ذلك أدوات لفهم أفضل لتاريخ الكون. ويفسر الكثير جدًا من الكتب التاريخ المبكر للكون. وتقديمي لهذه الحكاية يقوم في أغلبه على كتاب ستيفن وينبرج «الدقائق الأولى الثلاثة» 1977، وكتاب إريك جانتش «كون التنظيم الذاتي» 1983، وكتابي إريك شايسون «تطور الكون» 2001 و«ملحمة التطور» 2005، Eric Chaisson & Steve McMillan's *Astronomy Today* (2008), David Levy's *The Scientific American Book of the Cosmos* (2000), و Armand Delsemme's *Our Cosmic Origins* (1998). وأيضًا يعتبر موقع إريك شايسون *Cosmic Evolution* www.tufts.edu /as / wright_center / cosmic_ evolution /index. html على مركز وايت للتعليم العلمي مفيدًا جدًا. ويضاف إلى ذلك عدد آخر من الكتب التي تم أخذها بعين الاعتبار، وتم ذكرها في قائمة المراجع.
2. ترتبط مشكلة كيفية تعريف السنة بالفرق بين السنة الاستوائية والسنة النجمية. ويتم تعريف السنة الاستوائية عادة باعتبارها الزمن الذي تستغرقه الشمس للانتقال من الاعتدال الربيعي إلى التالي له. وفي الغالب، نتيجة لدوران محور الأرض، تكون السنة الاستوائية أقل بنحو 20 دقيقة عن السنة النجمية، وهو الزمن التي تستغرقه الأرض للعودة إلى موقعها الظاهري في السماء (والذي يتطابق تقريبًا مع مدار واحد حول الشمس). بالنسبة للتقويم يتم استخدام السنة الاستوائية لتعريف السنة.
3. تبعًا للكتيب الذي نشره المكتب الدولي للأوزان والمقاييس، The International System of Units (SI) (2006), p. 113، يتم تعريف الثانية باعتبارها دوام فترات زمنية 9,192,631,770 للإشعاع المناظر للانتقال بين مستويين مفرطي الدقة لحالة همود ذرة السيزيوم 133 عند درجة صفر كالفن. من المفترض أن ترددُ هذه التذبذبات لم يتغير في مسار الزمن. ربما تعتبر الثانية من بين الوحدات الزمنية البديهية الأقدم التي استخدمها البشر، لأنها تناظر بالضبط نبضات قلب الذكر الطبيعية في حالة الراحة.
4. يقينًا، كل العناصر الكيميائية التي ظهرت منذ الانفجار الكبير جاءت نتيجة عمليات اندماج في النجوم. ورغم ذلك فإنه حتى في أيامنا هذه، تعتبر هذه الكميات هامشية مقارنة بكميات الهيدروجين والهليوم التي يعود أصلها إلى ما بعد الانفجار الكبير تمامًا.

5. حتى يومنا هذا، لم يستطع أحد العثور على أي مادة مظلمة على الأرض. ورغم ذلك فتبعًا لتفسير حركات مجرات أخرى، يبدو أن المادة المظلمة تتكتل مع المادة العادية. ولعل العدد القليل حاليًا من المجرات التابعة الصغيرة المرصودة التي تصاحب مجرّتنا تشكل مشكلة أخرى لنظرية المادة المظلمة، انظر Chown (2009). أفضل نظرية بديلة معروفة لنظرية الجاذبية هي ما يعرف باسم ديناميكا نيوتن المعدَّلة MOND. انظر، مثلاً، .Shiga (2006) and Chown (2007)

6. لنظرة شاملة على قضايا مرتبطة بالمادة المظلمة، انظر .Shiga (2007) وبالنظر إلى مشكلة ما إذا كان خمود الضوء المنبعث من النوع 1أ سوبرنوفا خلال انتقاله في الكون قد يسبب أخطاء في التفسير الخاص بالطاقة المظلمة، كتب لي عالم الفلك الأمريكي نيل جيهرلز: «بالفعل السوبرنوفا 1أ منقرض. ويجب إجراء تصحيح متمهل للانقراض حتى يتم استخدامها باعتبارها شموعًا قياسية». ويجعلني ذلك أتساءل حول كيفية معرفة علماء الفلك بشكل مؤكد بكمية الضوء الذي امتصَّته المادة عبر الطريق بعد أن يكون قد انتقل عبر مثل هذه المسافة الضخمة. من الواضح أنني، وأنا غير متخصص، لا يمكن ربما أن يكون المطلوب مني حل هذه المسائل. في الواقع الفعلي، هناك الكثير جدًا من المشاكل المهمة في ما يتعلق بسيناريو الانفجار الكبير. وكل هذا يجعلني، مثلي مثل الكثيرين أيضًا، أشك في أنه ما زالت هناك كمية كبيرة من العمل النظري التي يجب إنجازها وأنه يجب صياغة بعض من النظريات العلمية الخالدة في وقت ما في المستقبل.

نتيجة لذلك، يمكن النظر فقط إلى وجهات النظر الواردة هنا باعتبارها أولية. ورغم ذلك، كما قال إريك شايسون، بينما قد يتضح أن عمر الكون سوف يتم حسابه بشكل مختلف نتيجة تبصّرات في المستقبل، فإن تسلسل الأحداث ربما لا يتغير إلى حد كبير. انظر .Chaisson (2001), pp. 98-9 لنظرة شاملة حول المشاكل المتعلقة بعلم كون الانفجار الكبير، انظر Chown (2005) وLarner (2004).

7. تم استعارة «عصر الإشعاع» من إريك شايسون. ولا أعرف من كان أول شخص أبرز أهمية التحول من كون مبكر يسوده الإشعاع إلى كون تهيمن عليه المادة. في كتابه «أول ثلاث دقائق»، اقترح ستيفن وينبرج ذلك وكان بالفعل من دون أي مرجع إضافي، 1993، صفحة 80. ورغم أن الصيغة $E=mc^2$ تعود عادة بشكل حصري إلى عبقرية أينشتاين، فإنه تبعًا لعالم الفيزياء الهندي أجاي شارما (2004): «قبل أينشتاين أسهم من بين علماء الفيزياء الآخرين إسحاق نيوتن، والإنجليزي س. ت. بريستون في 1875، والفرنسي بوانكارّيه في 1900، والإيطالي دو بريتو في 1903، والألماني ف. هاسنوهرل بشكل كبير في تأملات وفي استنتاجات لمعادلة $E=Dmc^2$. ولقد استنتج بلانك أيضًا بعد أينشتاين $E=mc^2$ بشكل مستقل. ومن المعتقد أن ج. ج. تومسون قد استخدم أيضًا $E=Dmc^2$ من معادلات ماكسويل».

في حكايتي عن التاريخ الكوني المبكر، لم تتم مناقشة فكرة التضخم الكوني التي طوَّرها في الأصل عالم الفيزياء الأمريكي ألان جوث. ولعل هذا التمدّد القصير جدًا والسريع للكون المبكر جدًا قد حدث عند نحو 10 36- ثانية بعد الانفجار الكبير، تمامًا قبل بداية تشكل الجسيمات الأولية. وهذا يفسر حقيقة أن المكان في الكون القابل للرصد يبدو مسطحًا ومتجانسًا. ومع ذلك لا يبدو أن التضخم الكوني أثّر على ظهور واندثار التعقد في الكون.

8. ربما يكون الكتاب المعروف أكثر من غيره والذي يعالج هذه الفترة هو كتاب ستيفن وينبرج *The First Three Minutes* (1993). ويعترف وينبرج أن العنوان الأكثر دقة قد يكون *The First Three and Three-quarter Minites* (p. 110). لعدة عقود تساؤل المجتمع الفلكي حول سبب أن هذه القوى الثلاثة وثوابتها الطبيعية لها القيَم نفسها التي يتم قياسها حاليًا. هذا سؤال مهم، لأنها لو كانت مختلفة، لم تكن نظم المادة الأكثر تعقيدًا لتستطيع التشكل. وحاليًا، لا يستطيع أحد تفسير سبب أن هذه القوى، بما فيها ثوابتها، قد ظهرت بالطرق المحدَّدة التي اتبعتها. وقد أدى ذلك إلى فكرة المبدأ الإنساني الذي صاغه عالم الفيزياء الفلكية البريطاني براندون كارتر في العام 1973. في ما بعد صاغ عالما الفلك البريطانيان جون بارو وفرانك تيبلر (1986) اختلافين: ما يطلق عليهما المبدأين الإنسانيين الضعيف والقوي. يتضمن النوع الضعيف أنه لو اختلفت هذه الثوابت الطبيعية، لما كنا هنا وهناك لرصدها. ويحتم المبدأ القوى فكرة أنه كانت هناك شروط أولية معينة أجبرت كوننا، بما في ذلك الثوابت، على أن يصبح ما هو عليه الآن. ورغم ذلك، لا يعرف أي أحد حتى الآن ماهية هذه الشروط. لو أن الثوابت الطبيعية تطورت بالمصادفة البحتة، قد نتوقع وجود أكوان أخرى تكون فيها هذه الثوابت مختلفة.

أدى ذلك إلى الفكرة التأمّلية حتى الآن بأن كوننا قد يكون جزءًا من مجموعة أكوان، يطلق عليها معًا «الكون المتعدد»، والتي تطورت كلها بطرقها الخاصة. حاليًا، يعتبر عالم الفلك البريطاني الملكي سير مارتن ريس مدافعًا رائدًا عن هذه الفكرة (1997). لسوء الحظ، ليس لدينا أي دليل مباشر عن أكوان أخرى، وفي رأيي، لن يكون هذا لدينا أبدًا، لأنه حسب التعريف كل شيء يمكننا رصده يمثل جزءًا من كوننا.

هناك تحوّل آخر في هذه المناقشة. بالفعل منذ عدة عقود، لاحظ عالم الفلك الهندي سوبراهمانيان شاندراسكهار أن المادة مثل الضوء يبدو أنها مكمَّمة. وهذا يعني أن كلًا من نظامي الطاقة والمادة لا يتكون من امتداد ولكن بالأحرى من عدد من الخطوات المتميزة. بالنسبة للمادة، نحن ندرك الآن المستويات النووية، والمستويات الذرية والجزيئية، ومستوى الأشياء اليومية (التي تتنوع من الفيروسات إلى الصخور إلينا نحن أنفسنا)، والمستويين الشمسي والكوكبي، والمستويات المجَرّية، وتجمعات المجرات والكون «القابل للرصد» في مجمله. يفصل بين هذه المستويات المختلفة فجوات هائلة. وفي وقت أكثر حداثة، اقترح عالم الفلك الأمريكي توم جيريلس أنه قد يكون هناك نمط رياضي واضح في نظم تكميم الكتلة هذه. لو اتضح أن دليله صحيح، باستقراء هذه النزعة وتطبيقها على المستوى التالي، أي مجموعة من الأكوان، قد نستنتج بشكل غير مباشر بيانات عن مثل هذه الأكوان المتعددة المحتملة (2007 & 2009). ولأن تعريف كل الأرصاد المباشرة يتعامل مع أمور ترتبط بكوننا الخاص، سيكون من المستحيل رصد أكوان أخرى مباشرة. ونتيجة لذلك، يجب أن يكون أي دليل على الأكوان المتعددة غير مباشر تبعًا للتعريف. وأيًا كانت الإثارة في هذه التأملات، لن تلعب الأكوان المتعددة في حكايتي عن التاريخ الكبير أي دور إضافي.

9. تتكون البريونات من لبنات بناء تحت ذرية تسمى «كواركات»، والتي لا يمكن أن توجد بنفسها. خلال الفترة الزمنية لتكوين الباريون، ظهرت الكواركات أولًا. ولقد اندمجت بعد ذلك على هيئة بروتونات ونيوترونات والتصقت ببعضها بقوة شديدة (نووية).

10. Chaisson (2001), p. 110ff.

11. Jantsch (1983), pp. 82–9. ويبدو لي أن مصطلح «التطور الكوني المتشارك» قد يكون مفضلًا لتمييزه عن الأنواع الأخرى من التطور المتشارك، وبشكل خاص التطور البيولوجي المتشارك.

12. علماء الفيزياء الفلكية محتوى طاقة الإشعاع بالاستعانة بصيغة ماكس بلانك الشهيرة E=hv، بينما يتم تحديد محتوى طاقة المادة باستخدام الصيغة $E=mc^2$.

13. Chaisson & McMillan (2008), p. 735.

14. منحنى الجسم الأسود هو الإشعاع الذي يبثه جسم أسود مثالي عند درجات حرارة مختلفة. وبدلًا عن كلمة «التحييد neutralization» يتم غالبًا استخدام كلمة «إعادة التوحيد» للفترة التي توحّدت خلالها الجسيمات المشحونة إيجابيًا وسلبيًا. ومع ذلك، فإن كلمة «إعادة التوحيد» تشير إلى أن مثل هذه الجسيمات توحدت في وقت مبكر أيضًا، ويُظن بأن الأمر لم يكن هكذا. ومن ثم فإنني أفضّل تجنّب استخدام هذه الكلمة.

15. قد يكون أحد الاستثناءات هو أشعة الليزر.

16. الأدنى لحجم الثقوب السوداء ربما يكون منخفضًا بمقدار ثلاث مرات عن كتلة الشمس، انظر Chaisson & McMillan (2008), pp. 592–3. ورغم ذلك يبدو لي أن تركيزات المادة التي تصل إلى 200 مرة من كتلة الشمس قد تشكل النجوم، وليس الثقوب السوداء، إلا إذا تم دفعها معًا بسرعة كبيرة بحيث لا يمكن حدوث تشكل للنجم.

17. Chaisson Cosmic Evolution web site, page First stars.

18. لا زالت هناك كمية كبيرة من الجَدَل حول الكوازرات، أكثر بكثير مما يمكنني مناقشته هنا. انظر، على سبيل المثال، Chaisson & Mcmillan (2008), p. 670ff.

19. (2001), p. 126.

20. يُعتقد أن كل المجرات المعروفة وُجدت منذ عدة مليارات من السنوات. ورغم ذلك فإن الفترة الزمنية التي سجل خلالها البشر أرصادًا سماوية تصل إلى نحو 5000 سنة فقط. ويشحب ذلك إلى درجة عدم الأهمية مقارنةً بامتداد العمر المجري. ولم يكن في استطاعة البشر من ثم رصد تاريخ ممتد لأي مجرة منفردة. ونتيجة لذلك، فإن كل الحكايات التاريخية عن المجرات يعاد إنشاؤها بناء على عدد كبير من الصور المجرية، مع أعمارها المتوقعة التي تتراوح ما بين نحو 13 مليار سنة والوقت الراهن تقريبًا (مجرتنا الخاصة). وتم تفسير كل الصور باعتبارها مجرات في مراحل مختلفة من التطور. ويتم اتباع المقاربة نفسها بالنسبة للنجوم، وأغلبها أقدم بكثير أيضًا من الكائنات البشرية. في مجرتنا الخاصة، على سبيل المثال، يدرس علماء الفلك الضوء المنبعث من نجوم من المتوقع أنها لها أعمار مختلفة.

21. Hammer, Puech, Chemin, Flores & Lehnert (2007).

22. Jantsch (1983), p. 89.

23. Getman, Feigelson, Luhman, Sicilia-Aguilar, Wang & Garmire (2009).

24. عملية الاندماج النووي داخل النجوم تعتبر، في الحقيقة، أكثر تعقدًا. انظر، على سبيل المثال، Chaisson & McMillan (2008), p. 439ff.

25. Jantsch (1983), p. 91.

26. القيم التقريبية المقبولة حاليًا للشمس هي كتلة: 2×10^{30} كج، إنارة: 4×10^{26} واط ونصف قطر: 7×10^{8} متر.

27. Chaisson (2001), p. 148ff.
28. Chaisson (2001), p. 150 and p. 240.
29. قد يكون اكتشاف السوبرنوفا الساطع غير العادي SN 2006gy في سبتمبر 2006، والذي تم حساب كتلته على أنها أكبر بنحو 150 مرة من كتلة الشمس، في مجرة NGC 1260، والواقع على بعد نحو 240 مليون سنة ضوئية عن الأرض، مثالاً حديثًا عن مثل هذه الانفجارات، انظر Ofek, Cameron, Kasliwal et al, (2007) and Smith, Li, Foley et al, (2007). وقاد ذلك علماء الفيزياء الفلكية إلى مراجعة نماذجهم عن انفجارات مماثلة في الكون المبكر. «تشير بيانات SN 2006gy إلى أن السوبرنوفا المذهلة من النجوم الأولى -أكثر من الانهيار الكامل إلى ثقب أسود- قد تكون أكثر شيوعًا مما كان يُظن من قبل. من حيث التأثير على الكون المبكر، هناك اختلاف ضخم بين هذين الاحتمالين»، قال]ناثان[سميث: «أحدهما يدنّس المجرة بكميات كبيرة من عناصر مصنوعة حديثًا والآخر يسجنها إلى الأبد في ثقب أسود». www.newswise.com, 7 May 2007: NASA's Chandra Sees Brightest Supernova Ever.

ملاحظات الفصل الرابع

1. كان تحليل تركيب الأغلفة الجوية الكوكبية بحثًا عن حل لغز الحياة مقاربة ابتكرها جيمس لوفلوك وهو ما جعله يصل لاحقًا إلى فرضية جايا الخاصة به، المذكورة في الفصل الخامس (1987 & 2000).
2. البيانات العلمية لهذا الفصل متعددة وتتضمن الكثير من قرون الرصد الفلكي، والبيانات التي عادت بها المسابر الفضائية ورحلات الطيران الفضائية التي يقودها بشر، وتأريخ الصخور والدراسات التي رسخت منذ زمن طويل حول الجيولوجيا والبيولوجيا، بما في ذلك الكيمياء العضوية.
3. من أجل وجهات نظر نظرية شاملة عن الأنواع المحتملة للحياة في أماكن أخرى في الكون، انظر Fox (2007).
4. يجب أن نتجنب القول بأن ظهور الحياة والثقافة على جيراننا في الكون تكون على هيئة مراحل في الكون في مجمله، (cf. Aunger (2007a&b). لا يمكننا ببساطة أن نعزو وجود مراحل مثل ظهور الحياة والثقافة الذي نلاحظه هنا على الأرض إلى كل التاريخ الكبير، مثل هذه المقاربة قد تصل إلى أنواع جديدة من مركزية الأرض والبشر.
5. الفصلان الرابع والخامس يعتمدان على مصادر كثيرة جدًا لا يتم ذكرها بوضوح، غالبًا، في النص الأصلي لأن ذلك قد يؤدي إلى ملاحظة طويلة بعد كل جملة تقريبًا. مصادري العامة الأكثر أهمية هي بالترتيب الأبجدي: Chaisson (2001 & 2005), Christian (2004), Cloud (1988), Drury (1999), Jantsch (1983), Lovelock (1987 & 2000), Lunine (1999), Priem (1993 & 1997), Smil (1999 & 2002), Ward & Brownlee (2004) and Westbroek (1992).
6. Lineweaver, Fenner & Gibson (2004), pp. 59-62.
7. قد لا تحتاج أغلب متطلبات جولديلوكس هذه المزيد من التفسير، لكن مفهوم دائرة الدوران المشترك قد لا يكون مألوفًا. يمكن التعبير عن السرعة المدارية للأجرام حول مراكزها قياسًا على السرعة الزاويّة، وهي الزمن الذي يتم خلاله استكمال جزء معين من المدار. للمدار الواحد، بالطبع، زاوية كلية 360 درجة. وكما في مجموعتنا الشمسية، حيث الكواكب الخارجية تحتاج إلى مسافة للدوران

حول الشمس أطول من الكواكب الداخلية نتيجة لقوانين الجاذبية، تحتاج النجوم الخارجية في مجرتنا وقتًا للدوران حول القلب المركزي أطول من الأجرام النجمية الأكثر قربًا من المركز. بعبارة أخرى، كلما كانت الأجرام أكثر بعدًا نحو الخارج، كلما كانت سرعاتها الزاويّة أصغر. دائرة الدوران المشترك لمجرة ما يتم تعريفها على أنها المساحة التي تتساوى فيها السرعة الزاويّة لأي جرم حول المركز المجري مع متوسط السرعات الزاويّة لكل الأجرام التي تدور حول مركز المجرة. في مجرتنا، يمكن أن يكون نصف قطر هذه المساحة، وهو ما يطلق عليه «دائرة الدوران المشترك»، نحو 23500 سنة ضوئية (مع هامش خطأ نحو 4200 سنة ضوئية، بينما المسافة بين الشمس ومركز مجرة درب التبانة قد يكون نحو 24500 سنة ضوئية. بعبارة أخرى، قد يكون جيراننا الكونيون موجودون على قرب شديد من دائرة الدوران المشترك. وتبعًا لعلماء الكون، هذا هو المكان الذي يمكن أن نتوقع فيه تصادمات أقل مع جحرام تدور حول المركز المجري، وهو الوضع الذي يكون أكثر تفضيلًا لازدهار الحياة. انظر Mi-shurov, Zenina, Dambis, Mel`Nik & Rastorguev (1997), pp. 775-80. ويذكر المؤلفون أن نصف قطر الدوران المشترك للمجرة هو 7,2 ± 1,3 كيلو فرسخ نجمي وبعد الشمس عن مركز درب التبانة 7,5 كيلو فرسخ نجمي (الكيلو فرسخ نجمي يساوي 3260 سنة ضوئية).

8. في عام 2007، أعلن علماء فلك أوربيون اكتشاف كوكب يشبه الأرض، اسمه Gliese 581، قريب من نجم صغير مماثل. تم وصف هذا الاكتشاف على موقع CNN 25 أبريل 2007 كما يلي: لن تحترق «الشمس» بسطوع. وسوف تكون معلقة قريبة وكبيرة وحمراء في السماء، وهي تلمع بخفوت مثل جمرة فحم. وربما لا تغرب أبدًا لو كنت تعيش على الجانب المشمس من الكوكب. ولعلك ستقيم حفلة ميلاد كل 13 يومًا لأن هذه هي السرعة التي يدور بها هذا الكوكب الجديد حول نجمه الذي يشبه الشمس. لكن راقب الكعكة لعلك تكون قد وزنت قطعة كاملة أكثر مما تفعل على الأرض. قد تستطيع الإبقاء على خزانة ملابسك الحالية. سيكون من المرجح أن تكون درجة حرارة هذا الغروب الغريب شبيهة إلى حد كبير بدرجة الحرارة على الأرض - ليست شديدة الحرارة وليست شديدة البرودة. ودرجة الحرارة هذه «المناسبة تمامًا» هي أحد الأسباب الرئيسية في أن علماء الفلك يرون أن هذا الكوكب من المحتمل أن يأوي حياة خارج مجموعتنا الشمسية. وهو قريب أيضًا من حجم الأرض إلى الحد الذي لم تحدده التلسكوبات أبدًا. وكلا الأمران ربما يجعلانه أول كوكب صالح للسكنى بجانب الأرض أو المريخ... والنظام النجمي لهذا الكوكب الجديد يبعد فقط 20,5 سنة ضوئية، مما يجعل Gliese 581 أحد 100 نجم هي الأقرب إلى الأرض».
9. انظر، على سبيل المثال، .Chown (2008)
10. Kant (1955).
11. انظر، على سبيل المثال، .Cloud (1988), pp. 10-15 وتواجه هذه الحكاية مشكلة. خلال مليارات السنوات القليلة الأولى، لعل منطقتها المجرية الأولى الصالحة للسكنى كانت تتصف بمستوى منخفض من أحداث السوبرنوفا. ورغم ذلك فمنذ حادث الثوران العنيف الذي أنتج مجموعتنا الشمسية، لم ينفجر أي سوبرنوفا آخر قريب جدًا بحيث يدمرها أو تفني على الأقل الحياة على الأرض. وهذا يجعل المرء يتساءل حول توافر فرص انفجار سوبرونوفا منذ نحو 4,6 مليار سنة ولم يحدث أبدًا مرة أخرى في أي مكان قريب منا.

كان الأمر، لعله كان هناك أحداث سوبرنوفا أخرى بعيدة بعض الشيء عن جيراننا الكونيين قد أثرت بالفعل على تاريخنا، ولعل تأثيراتها مجهولة. لعله قد حدث منذ نحو 2.5 مليون سنة انفجار سوبرنوفا في مكان ما على بعد بين 60 و300 سنة ضوئية من الأرض. وتبعًا لعالم الفلك الأمريكي بريان فيلدز (New Scientist, 3 November 2007, p. 19): «لم يضربنا، أو لعلنا لم نكن هنا». وهذا لا يتطابق مع أي ذروة انقراض، ولكن، تبعًا لفيلدز، ليس هناك دليل مباشر على وجود علاقة ما، انظر أيضًا Ellis, Fields & Schramm (1996), Knie, Korschinek, Faestermann, Wallner, Scholten & Hillebrandt (1999). وفي 2007، كان هناك حوار حول انفجار سوبرنوفا هائل وشيك محتمل لأكثر النجوم سطوعًا في مجرتنا وهو Eta Carinae، على بعد 7500 سنة ضوئية من الأرض تقريبًا، بعد انفجار سوبرونوفا SN 2006gy, انظر Ofek, Cameron, Kasliwal et al. (2007) and Smith, Li, Foley et al. (2007). «لم نكن نعرف بالتأكيد إذا ما كان Eta Carinae سينفجر قريبًا، لكن كان من الأفضل أن نراقبه عن قرب في حال حدوثه»، هذا ما قاله ماريو ليفيو في معهد التلسكوب الفضائي العلمي في بالتيمور. «لعل انفجار Eta Carinae أفضل عرض لنجم في تاريخ الحضارة الحديثة».

12. بالنسبة لحساباتي، استخدمت البيانات التالية: تبعًا لمتوسط ما لتقديرات مختلفة، هناك حاليًا نحو $1,3\times10^{21}$ لتر من الماء على كوكبنا، 1 جول = 0,239 كالوري، بينما يتم تعريف الجول الواحد على أنه كمية الحرارة الضرورية لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء من 15,5 إلى 16,5 درجة مئوية.

13. الحرارة المتراكمة والحرارة التفاضلية مأخوذة من Priem (1997), p. 40. والمصطلحات الأخرى المستخدمة هي «حرارة الفصل» و«حرارة العزل». وليس من الواضح بالنسبة لي ما إذا كانت الحرارة المضافة بواسطة التصادم مع جرم بحجم المريخ الذي قد يكون وراء خلق القمر (انظر في ما يلي) متضمن في حرارة التراكم. ويُظن أن هذه اللقاء العنيف وراء الانصهار المبكر للأرض على الأقل جزئيًا، وهو ما يعني أنه قد أضاف كمية كبيرة من الطاقة.

14. انظر على سبيل المثال Ward & Brownlee (2004), p. 49.

15. Morrison, Morrison & The Office of Charles and Ray Eames (1994), p. 7.

16. انظر، على سبيل المثال، Gleick (1988) and Peterson (1995). في *Opticks* (1979), p. 402 دافع نيوتن عن فكرة أن تأثير الرب كان وراء المدارات الكوكبية المنتظمة بأن قال: «لأنه بينما تتحرك المذنبات في أجرام منحرفة جدًا عن المركز الهندسي بكل أشكال المواقع، لا يمكن للقدر الأعمى أبدًا أن يجعل كل الكواكب تتحرك بالطريقة الواحدة نفسها في أجرام متحدة المركز، وبعض الشذوذات التافهة يكون مقبولًا، ولعل ذلك ناتج عن التأثيرات المتبادلة بين المذنبات والكواكب، والذي سيكون من الملائم أن يزداد، حتى تقبل هذه المنظومة إصلاح ما». ويتساءل المرء حول ما إذا كان نيوتن قد أشار ضمنيًا إلى تماثلات متوقعة بين تاريخ المجموعة الشمسية والكنيسة الكاثوليكية الرومانية. بعبارة أخرى، لعل نيوتن قد اقترح أنه كان هناك بعض من الدعم الكوني للإصلاح البروتستانتي، الذي تم خلاله إعادة تعريف دور الكنيسة وعلم اللاهوت الخاص بها.

17. Kasting, Whitmire & Reynolds (1993), p. 108. وبالفعل، يبدو أن مفهوم منطقة مجموعة شمسية صالحة للسكنى قد ظهر أولًا، بينما تم استخدام هذه الفكرة لاحقًا لتعريف المنطقة المجرّية الصالحة للسكنى.

18. Ward & Brownlee (2004), p. 15ff.

19. انظر على سبيل المثال، .(Westbroek (1992 & 2009

20. انظر، على سبيل المثال، McSween (1997), p. 119, and May, Moore & Lintott (2006), p. 108.

21. انظر على سبيل المثال Budyko (1986) and Smil (2006), p. 22ff.

22. انظر .Cloud (1998), p. 123

23. Cf. Strangway (1970).

24. انظر، على سبيل المثال، .Van Andel (1994), p. 90-4 وبالفعل تعتبر تغيرات مدار الأرض نتيجة للتأثيرات السماوية أكثر تعقدًا من بين أشياء أخرى لأن محور المدار الإهليلجي يتحرّك حول الشمس، بينما يتمايل أيضًا.

25. Van Andel (1994), p126.

26. وجهة النظر هذه لا تعتبر غير مثيرة للجدل. في عام 2005، اقترح العالم الأمريكي فينج تيان ومساعدوه أن الغلاف الجوي المبكر لعله كان يتكون مما يصل إلى 40 في المائة من الهيدروجين، والذي اختفى ببطء ولكن بكل تأكيد في الفضاء. ولعل هذا الهيدروجين كان مفيدًا في تكوين المواد الكيميائية التي كانت ضرورية للحياة.

27. لوجهة نظر شاملة، انظر .White (1959), p. 34ff على سبيل المثال كتب إخصّائي الطاقة النمساوي إ. برودا (1975) وعالم البيولوجيا الأمريكي رونالد فوكس (1988) كتبًا رائعة تتعامل مع الحياة باعتبارها عملية توجّهها الطاقة. وتتضمن الكتب الأكثر حداثة كتابات فالكاف سميل الرائعة أيضًا حول المحيط الحيوي والحياة.

28. لوجهة نظر شاملة، انظر .Hamilton (2008)

29. 29 - تعريفي للحياة قريب جدًا للوصف الذي قدمه عالم البيولوجيا التطورية رونالد لورنتز: «الحياة هي مشروع نشاط فَعّال يهدف إلى تملّك كلًا من تمويل بالطاقة ومخزون من المعرفة، وتملّك أحدهما مفيد في اكتساب الآخر. والفعالية الهائلة لدورتَيْ الارتجاع هاتين، المقترنة بتفاعل متزايد، هي الشرط المسبق، وهي بالفعل تفسير حقيقة أن الحياة لديها القوة لكي تدافع عن نفسها ضد القوة الأعلى للعالم غير العضوي القاسي» كما هو مقتبس في .Chaisson (2001), p. 176 انظر أيضًا Lehninger .(1975), pp. 3-4 وفي تعريفي للحياة، لا تعتبر الفيروسات كائنات حية، ورغم ذلك فإنها مع الخلايا التي تستخدمها لغاياتها الخاصة، تشكل هويات حية.

30. Jantsch (1983), pp. 102-3.

31. انظر، على سبيل المثال، .Smil (2006), p. 24

32. تبعًا لشبكة المعلومات Encyclopedia of Science (www.daviddarling.info/encyclopedia/D/DarwinC.html)، «خمّنَ داروين، في خطاب إلى عالم النباتات جوزيف هوكر (1871)، احتمال وجود أصل كيميائي للحياة: «يُقال غالبًا إن كل الشروط للإنتاج الأول لكائن حي كانت موجودة، ولعلها كانت موجودة دائمًا. لكن لو أنه (ويا لها من لو) كان في استطاعتنا الاعتقاد في نوع من البرك الصغيرة الدافئة، وبأن كل أنواع الأمونيا والأملاح الفسفورية، والضوء، والحرارة، والكهرباء.. إلخ، كانت موجودة، وأن مركب بروتين كان قد تكون كيميائيًا ومستعد لأن يحدث له تغيرات أكثر

تعقدًا رغم ذلك، فإنه في الوقت الحالي لعل مثل هذا الأمر قد تبدد أو تم امتصاصه، وتلك الحالة لم تكن لتوجد قبل تشكل الكائنات الحية». ومع ذلك فبإدراك أن العلم لم يكن مستعدًا بعد في ذلك الزمن لمثل هذا المفهوم، أضاف: «إنه لمجرد أمر لا قيمة له التفكير في الوقت الحالي في أصل الحياة، ولعل المرء يفكر أيضًا في أصل المادة».

33. انظر، على سبيل المثال، .Pleij (1995), Whitfield (2004) and Koonin & Martin (2005) وفي 2005، صغت بضعة آراء قد تساعد في استعادة أقدم جينوم ممكن في بحث غير منشور. وهذا يتضمن التحقق من الرنا الريبوسومي باعتباره البقاء المباشر لما لعله كان أقدم شفرة وراثية. في كل الخلايا الحديثة، يعتبر الرنا الريبوسومي مهم جدًا في صناعة البروتينات. ولعله قد تطور عن مجموعة رنا ذاتية التحفيز كان في استطاعتها صناعة البروتينات واستنساخ نفسها. نتيجة لذلك، ربما يمكن للرنا الريبوسومي الحديث أن يلقي بعض الضوء على سيناريو عالم الرنا الذي يسهم في تفسير ظهور الحياة.

34. Chaisson (2001), pp. 169-70.

35. Niele (2005), p. 8.

36. Cf. Cairns-Smith (1995).

37. من المغري التأمل في ظهور آليات كيميائية حيوية محتملة أمدت الحياة بمحرك مدمج للبقاء. ولعل الظهور التلقائي للتحفيز الذاتي في الخلايا كان جزءًا من هذه العملية. ولا بد أن عملها قد أدى إلى احتياج إلى مواد كيميائية محددة، وبذلك إلى تدرّج مادة وطاقة داخل الخلايا حفز ظهور آلية امتصت بفعالية هذه المواد الكيميائية من الخارج.

38. انظر .Belderok (2008) تكوين النفط وخاصة الغاز الطبيعي (الميثان) محل جدال. يرى بعض العلماء أن لهما أصول غير حية، انظر .Glasby (2006) قد يكون هذا مقبولًا بالنسبة للميثان، لأن كميات كبيرة من هذا الغاز موجودة أيضًا في كواكب أخرى، مثل المشترى، وأقمار مثل تيتان. وليس من المرجح إلى حد كبير أن هذا الميثان قد أنتجته الحياة.

ملاحظات الفصل الخامس

1. البيانات المستخدمة لإعادة بناء التطورات التي يتم مناقشتها في هذا الفصل متعددة وتم الحصول عليها من قرون كثيرة من الدراسات الجيولوجية والبيولوجية، بما في ذلك الكيمياء الحيوية.
2. كتب العالم النمساوي إنجلبرت برودا (1975) والعالم الأمريكي رونالد فوكس (1988) كتبًا متبصّرة تلخص الكثير من هذه الجوانب منذ عقود مضت. والأكثر حداثة، كان فاكلاف سميل كاتبًا رائدًا في هذه الأمور، بينما في عام 2005، لخّص العالم الهولندي فرانك نيل تاريخ الحياة والثقافة بمصطلحات نظم الطاقة.
3. في عام 2007، أوضح عالم دراسات أشكال الحياة ما قبل التاريخ، الروسي ألكسندر ماركوف، أن لعدد الأجناس البحرية قد ازداد بشكل بالغ منذ 550 مليون سنة قبل الآن، انظر Markow & Korotayev (2007).
4. للحصول على تعريف ل «منظومات التكيف المعقدة»، انظر .Gell-Mann (1994), p. 16ff وفي أكتوبر 1996، كان من حسن حظي إلى حد كبير أنني قضيت أسبوعين في معهد سانتا في بالقرب من

سانتا في، نيو مكسيكو، حيث قدمت كتابي «بنية التاريخ الكبير». وأدى هذا إلى مناقشة فاتنة مع من هم في عداد الشخصيات الأكثر شهرة ماري جيل-مان وستيوارت كوفمان. وفي استعادة للماضي، بدأت أغلب أفكاري حول ظهور واندثار التعقد في التاريخ الكبير تتشكل في ذلك الوقت.

5. صاغ .Erich Jantsch (1983), p. 100 ذلك بشكل مختلف بعض الشيء: «البنى المشتتة [البنى التي تحافظ على استمرار نفسها بفضل تدفق الطاقة المستمر] تتضمَّن تكثيفًا وتسارعًا غير عادي لعمليات قد لا تؤدي إلى أي مكان خلاف ذلك. يؤدي التحفيز البسيط إلى نمو خَطي، والتحفيز الذاتي إلى النمو الأسّي. لو أنه في التطور الكوني كانت «المهمة» هي أحيانًا تأخير عمليات تحرير الطاقة لكي تضمن نشر تطور أكثر كمالًا، فإنه الآن من الناحية الأساسية إحداث تسارع في العمليات».

6. .David Christian (2003) في اتصال شخصي. في عام 2004، خلال مؤتمر ليوم واحد في أمستردام كان مكرسًا للموضوعات الرئيسية التي تمت مناقشتها في هذا الكتاب، طرح عالم البيولوجيا البلجيكي كوون مارتينس سؤالًا فاتنًا حول ما إذا كانت هناك علاقة بين كثافات الطاقة وأطوال أعمار الأفراد والأجناس. وكان العالم البريطاني جوفري ويست، مدير معهد سانتا في قد تدبّرَ أمر هذا السؤال بأن أشار إلى أن الحجم الأكبر للجسم، ومعدلات الأيض الأقل (كثافات الطاقة) والعمر الأطول للفرد مترابطة بشكل مباشر.

7. Broda (1975), p. 41.

8. انظر Westerhoff, Hellingwerf & van Dam (1983) and Rutgers, van der Gulden & van Dam (1989). ولقد استلهم هؤلاء الكتّاب أعمال عالم علم العقاقير السويسري جورج ستاكي (1980)، الذي أنجز حسابات حول النماذج النظرية لاستراتيجيات جعل الديناميكا الحرارية مثالية بواسطة البكتيريا.

9. Markarieva, Gorshkov, Li, Chown, Reich & Gavrilov (2008).

10. لعل هناك أيضًا أمثلة على الحصول على كفاءة أكبر دون دفع ثمن التعقّد الأكبر. التغير من أنابيب الراديو إلى الترانزستورات، على سبيل المثال، قد يمثل مثل هذا الانتقال. ومن المجهول بالنسبة لي ما إذا كان قد حدث في أي وقت تغيرات مماثلة في مملكة الكائنات الحية.

11. .Tainter, Allen, Little & Hoekstra (2003). انظر أيضًا (Allen, Tainter & Hoekstra (2003.

12. تتضمن ظروف جولديلوكس لألكسندر فون هامبولدت خطوط ثبوت درجة الحرارة isotherms (أول خريطة خطوط ثبوت درجة حرارة تتضمن متوسط درجات حرارة متساوية)، والخطوط المتزاوية isogones (انحراف مغناطيسي متساوي)، والانحدار المتساوي isoclines (انحدار مغناطيسي متساوي)، والتماثل الحراري في باطن الأرض isogeothermal، وخطوط التماثل الحراري والتماثل في الضغط الجوي، وخطوط على خريطة الطقس isotheral وخطوط تحول لا يتضمن تغيرًا كبيرًا في تركيبه الكيميائي isochimenal (الخطوط التي تربط بين الأماكن التي تتميّز بالصيف الرديء نفسه أو درجة حرارة الشتاء نفسها).

13. Cf. Chaisson (2001), p. 32.

14. Graedel & Crutzen (1993), pp. 32-3.

15. Ward & Brownlee (2004), p. 201.

16. Cf. Vernadsky (1998), Carroll (2000) and Priem (1993).

17. لا يمكنني مقاومة حكاية نادرة صغيرة. منذ سنة 1995، حاضر عالم فيزياء الأرض الهولندي بيتر ويستبروك بشكل بياني في منهج التاريخ الكبير في أمستردام عن التأثير الرئيسي الذي مارسته الحياة على الجيولوجيا، والذي لم يتوقف أبدًا عن إثارة دهشة الطلاب. وبينما كنت أحاضر في كاسكو، في بيرو، في سنة 1997، أوضحت هذه الأمور لطلاب الجامعة المحلية UNSAAC، ولقد استقبلت ردود فعل مماثلة تمامًا. ورغم ذلك عندما ناقشت بعد ذلك هذه الأمور، مثل الطحالب التي تأكل الصخور، مع بعض من أصدقائي الأنديز الحميمين من زوريت بالقرب من كاسكو بينما كانوا يعملون في الأرض، استقبلت ردود فعل مثل: «بالتأكيد، أيها الصديق الحميم، هذا ما تفعله هناك». بعبارة أخرى، هم يعرفون ذلك الأمر. من الواضح، أن هذه الأمور جديدة بالنسبة للناس الذين نشأوا في البيئات المدنية، بينما يتضح أن الناس الذين يعيشون من الأرض بطرق تقليدية أكثر يعرفون جيدًا هذه الأمور. ويجعلني ذلك أتساءل حول مدى فقد المعارف القيّمة (النسيان الجماعي) كجزء من العمليات الحالية التي تحدث على الكرة الأرضية من تمدّن وتصنيع الريف.

18. لا تزال درجة تأثير العمليات غير العضوية والحياة على مستوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وتسهم بالتالي في المحافظة على درجة الحرارة الكوكبية مستقرة نسبيًا خلال الدهور موضع نقاش (انظر، على سبيل المثال، .Allègre & Scheider (2000), p. 222) والأمر نفسه بالنسبة للمحافظة على الماء خلال هذه الفترة الزمنية. ويرى لوفلوك أن الحياة كانت مسؤولة عن هذه الظاهرة (p. 128 ,2000)، بينما يوافق (Kasting, Whitmire & Reynolds (1993, pp. 118-19 على أن أي كوكب من دون غلاف جوي غني بالأكسجين سيفقد بالفعل ماءه بشكل أسرع. لكن ذلك قد يكون عملية بطيئة، والأرض الحالية لم تكن لتجف تمامًا حتى الآن.

19. انظر .Lovelock (1987 & 2000), p. 96, and Raup (1993)

20. انظر .Lovelock (2000 & 2006)

21. هذا مضبوط تمامًا لأن الأحافير الصفائحية stromatolites قد تعلقت ببعضها بشكل بالغ التماسك حتى إنه أصبح في استطاعتنا الآن أن نعثر على بقاياها. ولعل الكثير من الخلايا الفردية المعاصرة قد هلكت تمامًا من دون أن تترك أية آثار.

22. Niele (2005), p. 11.

23. De Vos (2004).

24. موقع جامعة متحف كاليفورنيا لعلم دراسات الحياة ما قبل التاريخ: www.ucmp.berkeley.edu /bacteria /cyanofr.html

25. تبعًا لمقالة لنيك لان (2009)، لعل الجنس قد ظهر بالفعل بين أول خلايا حقيقية النواة.

26. في سنة 2009، تم اقتراح احتمال أن حياة الحيوان قد تطورت في وقت مبكر منذ 850 مليون سنة، لكنها بقيت هامشية حتى غيرت العصور الجليدية بيئتها، انظر Fox (2009).

27. انظر، على سبيل المثال، Gould & Eldredge (1989), Conway Morris (1998) and O`Donoghue (2007a).

28. انظر، على سبيل المثال، .Walker (2003)

29. Graedel & Crutzen (1993), p. 194.

30. انظر .Perkins (2009)

31. انظر .Pavlov. Toon, Pavlov, Bally & Pollard (2005) and Reich (2005)

32. لعل «البداية المتصدرة التي لا يمكن هزيمتها» هي العكس بالضبط لـ«قانون الطليعة المعوقة» التي صاغها المؤرِّخ الهولندي جان رومين في عام 1937.

33. أفضل وجهة نظر شاملة عن التطور والأمخاخ أعرفها في .Allman (1999)

34. .Karel van Dam (2007) في اتصال شخصي.

35. Koshland (1980), p. 2 and p. 144.

36. في كتابه عام 1980، اقترب كوشلاند جدًا من النموذج الذي اقترحه كاريل فان دام، خاصة في p. 145ff. ورغم ذلك لم يتابع هذه الأفكار.

37. يوجز الكثير من الكتب التقليدية الموجودة عن البيولوجيا هذه التطورات بتفاصيل أكثر أو أقل. والكتب التي أفضلها هي .Wicander & Monroe (1993) and Gould & Keeton (1996)

38. في 2008، وجدت Sarah Adamowicz, Andy Purvis and Matthew Wills أنه خلال تطورها، كانت القشريات تميل لأن تصبح أكثر تعقدًا من أن تكون أقل تعقدًا. من الواضح أنه كان هناك مسار اعتياد يدفع هذه الكائنات الحية نحو التعقد الأكبر. ولعل هذا كان نمطا أكثر عمومية.

39. Tuzo Wilson، مقتبس في .Wicander & Monroe (1993), p. 194

40. رودينيا على اسم الكلمة الروسية rodina «الوطن». وتعني Pannotia «كل الجنوبيين»، لأن هذه المساحة الواسعة من الأرض كانت تقع في أغلبها في نصف الكرة الأرضية الجنوبي، بينما تعني Pan-gea «مجمل الأرض» في اليونانية.

41. Gould & Keeton (1996), p. 612.

42. Pyne (2001), p. 7.

43. .Cf. Potts (1996), p. 21 ومن أجل تاريخ مختصر عن النباتات الأرضية، انظر O`Donoghue (2007b).

44. Osborne & Tarling (1995), p. 104.

45. Von Humboldt (1997), p. 346ff., and Darwin (1985), p. 135.

46. Wicander & Monroe (1993), p. 449.

47. اقترح كورت ويدرهيلم علاقة سببية بين الاصطدام بكويكب بالقرب من ياكتان Yuctan والأنشطة البركانية التي أوجدت شراك ديكان Deccan بالفعل في عام 1992. وفي نظريته في البحث الذي لم ينشر حول أصل شراك ديكان (2008)، يرى دافيد ويبر أنه في زمن الصدمة، كانت الهند تقع بالضبط تقريبًا على الجانب المعاكس من العالم، وهو ما يجعل مثل هذه التأثير السببي مرجحًا أكثر، لأنه في المكان نفسه كانت الموجات الزلزالية مركزة.

ملاحظات الفصل السادس

1. أتت البيانات العلمية المستخدمة في هذا الفصل من دراسات كثيرة مختلفة الأنواع في الجيولوجيا، والطقس، والأنثروبولوجيا ما قبل التاريخ وعلم الآثار.

2. .Cf. Trefil (1997) ملاحظات كثيرة حول الأمخاخ مذكورة في هذا الفصل يمكن العثور عليها في .Allman (1999)

3. Chaisson (2001), p. 139.

4. Magistretti, Pellerin & Martin (2000).

5. Christian (2004). ليست هذه وجهة نظر جديدة تمامًا. بالفعل كان ألكسندر فون هامبولدت قد تبنّى أفكارًا مماثلة جدًا (1995, 80 .p.، بينما في العام 1960 فسَّر العالم الأمريكي ليون سبراج دو كامب سرعة الابتكارات بالطريقة نفسها إلى حد كبير (1993, 17 .p).

6. انظر، على سبيل المثال، Potts (1996), p. 181ff.

7. لبناء بيئة ملائمة انظر، على سبيل المثال، Odling–Smee, Laland & Feldman (2003). المقاربة العلمية لبناء بيئة ملائمة لعلها قد بدأت مع دراسة تشارلز داروين عام 1881 حول تأثيرات الديدان على تضاريس الأرض.

8. انظر، على سبيل المثال، White (1943 & 1959), Harris (1975, 1980 & 1997), Elias (1978a), McNeill (1963 & 1992), pp. vii–xiii, Smil (1994), McNeill & McNeill (2003), Christian (2004) and Crosby (2006).

9. مقتبس في Cook (1976), p. xii.

10. من أجل دراسة ثقافية أنثروبولوجية متبصِّرة حول كيفية موازنة الناس للتكاليف والمنافع، انظر Smith (2000).

11. Simmons (1994), p. 30.

12. Cook (1971), p. 136/ كانت هذه البيانات متوفرة بكيلوكالوري/ يوم/ فرد. ولتحويلها إلى واط/ كج، افترضت من أجل البساطة أن متوسط وزن الجسم خلال كل التاريخ البشري كان نحو 40 كجم (البالغون والأطفال معًا). ونتيجة لذلك ستكون بيانات كوك هي بالضبط نفسها بالواط/ كج. وكل تلك الأرقام هي، بالطبع، تقديرات أولية ويجب النظر إليها بحذر كاف.

13. وجهة النظر هذه كان يتمسك بها بالفعل تشارلز داروين في عام 1871، انظر Darwin (2004), pp. 72–3. ومن أجل كتابات أكثر حداثة، انظر، على سبيل المثال، van Andel (1994), pp. 90–4, Gamble (1995), pp. 79–84, Tudge (1993 & 1996), Vrba (1993) and Vrba, Denton, Partridge & Burckle (1995). واقترح Thorpe, Holder & Crompton (2007) أن ثنائية القدم لعلها قد تطورت من محاولات أقدم للسير بقامة مرفوعة على أغصان الشجر بواسطة أسلاف تشبه القردة العليا للوصول إلى أغصان أخرى لم يكن يمكن الوصول إليها بأية طريقة أخرى.

14. انظر، على سبيل المثال، Potts (1996), p. 50ff.

15. Kortlandt (1972), انظر أيضًا Coppens (1994) and Kortlandt vs. Coppens (1994).

16. انظر Potts (1996).

17. Kortlandt (1980).

18. Cf. Goudsblom (1990 & 1992) and Gamble (1995), pp. 66-70.

19. لعل عالم الفلك الهولندي أنتون بانكوك (1953) هو أول من ناقش آلية الارتجاع بين صناعة الأدوات ونمو المخ. والنسخة الأقدم من مناظرته بالهولندية يمكن العثور عليها في Pannekoek (1909).

20. Potts (1996), pp. 11-12.

21. Potts (1996), p. 121.

22. في سنة 1918، اقترح عالم علم التشريح الهولندي لويس بولك فكرة السمات اليرقانية في سن البلوغ neoteny خلال خطاب في جامعة أمستردام. ولقد نشر بولك بعد ذلك أفكاره في اللغة الهولندية أولًا وبعد ذلك في الألمانية (1981 & 1926). وانظر أيضًا .Gould & Eldredge (1977), pp 9-63, (1993) and Vélez (1998).

23. Aiello & Wheeler (1995), pp. 199-221. وانظر أيضًا Roebroeks (2007).

24. استخدم أيلو ويلر مصطلح «معدل أيض كتلة محددة»، وهو نفسه ما يخص كثافة الطاقة. وقيمتها للمخ أقل قليلًا من كثافة قوة 15 واط/كج التي قدمها شايسون، ورغم ذلك في إطار قيمة المقدار نفسها.

25. ليس هناك سبب للتفكير بأن عملية التطور المتبادل بين الأمخاخ والأمعاء قد وصلت الآن إلى نهايتها. بالفعل، مع الأطعمة الغنية الحالية في الدول الغنية، لعل هناك جولة أخرى من التطور المتبادل بين الأمعاء والأمخاخ دائرة الآن من دون أن يلاحظها أغلبنا. وفي الوقت الراهن، يبدو أن هناك ارتفاعًا سريعًا في عدد الأطفال التوحّديين، والكثير منهم لديه مشاكل هضمية حادة. ولا يمكن لهؤلاء الأطفال أن يحتملوا مواد غذائية تعتبر غير مضرة عادة، بما في ذلك بروتينات اللبن والجلوتين، بينما يكون لهم موقف أفضل تجاه الأطعمة الحصرية أيضًا. ويتم إدراك ذلك الآن في بعض الدوائر الطبية الراسخة في الولايات المتحدة، وبريطانيا العظمى وأستراليا. انظر، على سبيل المثال، Neimark (2007). - في الوقت نفسه، تعتبر قلة قليلة جدًا من هؤلاء الأطفال موهوبين عقليًا. في الحقيقة، يُظن حاليًا أن بعض الناس الذين لديهم مساهمات مهمة في العلم، بما في ذلك سير إسحاق نيوتن، ومدام كوري وألبرت أينشتاين، من المحتمل أنه كانت لديهم ميول توحّد إلى حد ما. ربما في تاريخ البشر الأوائل، في كل مرة كان هناك تدفق في التطور المتبادل بين الأمعاء والأمخاخ، ابتكر أشخاص مماثلون موهوبون أول أدوات وتحكموا لاحقًا في أول نيران، (cf. Fitzgerald (2004. يتساءل المرء حول ما إذا كان هناك في الوقت الحالي نسبة مئوية كبيرة غير عادية للأولاد التوحّديين بين الأطفال الذين ولدوا بالعملية القيصرية، لأنه بالنسبة إليهم كان قيد حجم المخ قد تمت إزالته. وهذا يعني أن مثل هؤلاء الأطفال الصغار لن يتم استبعادهم مرة أخرى. ونتيجة لذلك، يمكن أن تصبح أمخاخهم أكبر من جديد، وهو ما قد يرتبط وراثيًا بأمعاء أصغر.

26. Darwin (2004), p. 68.

27. Alperson-Afil (2008) لأول تحكّم في النار في أفريقيا وإسرائيل، انظر أيضًا Goudsblom (1992), p. 16ff., and Simmons (1994), pp. 38-9.

28. Pyne (2001), p. 30.

29. Niele (2005), p. 29ff.

30. انظر، على سبيل المثال، Gamble (1995), pp. 66-70, Goudsblom (1992) and Pyne (2001).

31. Goudsblom (1992), p. 20ff.

32. Reijnders (2006a).

33. Pyne (2001), p. 24ff.

34. انظر، على سبيل المثال Gamble (1995), Simmons (1994), pp. 38-42, and Williams, Dunkerley, DeDeckker, Kershaw & Stokes (1993), pp. 190-221.

35. Cf., McNeill (1963) and Harris (1975), p. 16ff. على سبيل المثال

36. Reed, Smith, Hammond, Rogers & Clayton (2004). لعل قمل الجسد قد تطور من قمل الرأس.

37. انظر، على سبيل المثال، Smith (2007).

38. في عام 1988، خلال إقامتي كعالم أنثروبولوجيا في قرية أنديزية بيروفية في زيريت، قدم لي بكل فخر عالم الأنثروبولوجيا البيروفي د. جورج فيلافيرت ر.، الذي كنت أقيم في منزله، رواقه العشبي الصغير الجديد هناك، وهو مزيَّن ببضع أشجار. وأخبرنا بأنه كان عشبًا من كيكويو (بنيسيتام كلانديستنام *Pennisetum clandestinum*، نبات محلي من تلال أفريقيا الوسطى، كما اتضح لي لاحقًا)، لأنه كان النوع الوحيد من العشب الذي يمكنه بالفعل البقاء رغم الظروف الأنديزية القاسية في الغالب. ويضاف إلى ذلك، للبقاء خلال فصل جاف تكون هناك حاجة إلى سقايته كل يوم تقريبًا.

39. Trefil (1994), p. 11, and Barrow (1995), p. 91ff.

40. McNeill (1976), pp. 15-33.

41. Sherratt (1996 & 1997).

42. Sherratt (1996), p. 133.

43. انظر، على سبيل المثال، Potts (1996) and McBrearty & Brooks (2000).

44. De Vos (2004).

45. Cavalli-Sforza (2000), p. 93ff.

46. من أجل ملخصات لنظريات كيفية ظهور البشر المعاصرين، بما في ذلك أهمية التغير المناخي، انظر، على سبيل المثال، Mellars (2006), Burroughs (2006), p. 109ff, and Jones (2007).

47. Zeilinga de Boer & Sanders (2002), pp. 155-6.

48. يؤكد متخصصان رائدان على الهجرة الساحلية في الأمريكتين وهما Fladmark (1979) and Gruhn (1988)، وانظر أيضًا Pringle (2007b) and Dillehay (1997) بالنسبة للاستيطان في شيلي.

49. مصير النياندرتاليين والبشر الأوائل المماثلين هو موضوع نقاش أكاديمي مستمر. ولوجهات النظر المتباعدة، انظر Stringer & Gamble (1993) and Wolpoff & Caspari (1997). وبعد نشر هذه الكتب، تأرجح هذا النقاش إلى الأمام وإلى الخلف عدة مرات بين الإحلال وبعض الامتزاج. واكتشاف جينات النياندرتاليين الآن يجعل العلماء يرون أنه كان لهم جلود بيضاء وشعر أحمر، انظر Lalueza-Fox, Rompler, Caramelli et al. (2007) and Culotta (2007). وتبعًا لـ Reed, Smith, Hammond, Rogers & Clayton (2004) جعلتهم دراساتهم حول تطور قمل الجسم يرون أنه لا بد أن التفاعل القريب بين البشر القدامى والمعاصرين قد حدث. ورغم ذلك لا يتضمن بالضرورة تفاعلًا جنسيًا. ولا بد أن الإنسان الفلورسيني *Homo floresiensis* (معروف أكثر باعتباره هوبيت Hobbit لأنه كان صغيرًا جدًا) كان إنسانًا منتصب القامة عاش حتى منذ نحو 18 ألف عام (ربما حتى حديثًا منذ 12 ألف سنة) على جزيرة فلوريس في الأرخبيل الإندونيسي، انظر Brown, Sutikna, Morwood et al. (2004).

50. Simmons (1994), p. 43.

51. Simmons (1994), p. 44.

52. Cf. Pyne (2001).

53. انظر، على سبيل المثال، Simmons (1994), p. 37 and pp. 74-5. وفكرة أن العصر البليستوسيني قد أسرف ليست غير قابلة للجدل.

54. انظر، على سبيل المثال، Zeilinga de Boer & Sanders (2002 & 2005) and Fagan (2004).

55. Pringle (2007a) and Firestone, West, Kennett et al. (2007). انظر أيضًا van der Hammen & van Geel (2008).

56. Wenke & Olszewski (2007), p. 172.

57. Spier (1994).

58. في مقاربتي الاجتماعية عن الدين، لا أبحث عن طرح سؤال حول ما إذا كانت وجهات نظر شاملة أو أديان معينة صحيحة وغيرها خاطئ. في فهمي للعلم، ليس من شأن الأكاديميين تقرير هذه الأمور، لأن المنهج العلمي لا يسمح لنا بالحصول على برهان قاطع حول وجود أو غياب القوى فوق الطبيعية. ومع ذلك، فإن ما يمكن للأكاديميين فعله هو ملاحظة تعبير الناس عن وجهات النظر الدينية الشاملة بالإضافة إلى أنواع الممارسات الدينية التي يشاركون فيها. لتحليل للدين والسياسة في بيرو خلال مجمل تاريخها المعروف بالنسبة للاحتياجات والقيود الدينية، انظر Spier (1994). ومن أجل وجهة نظر شاملة مماثلة في اللغة الهولندية حول الدين والسياسة في التاريخ البشري، انظر Spier (1990). ولسوء الحظ، حتى اليوم لم أحصل على الوقت الكافي لترجمة هذه المقالة إلى الإنجليزية. في Spier (1996)، ذكرت بعضًا من هذه الأفكار باللغة الإنجليزية.

ملاحظات الفصل السابع

1. البيانات العلمية المستخدمة في هذا الفصل تتنوع من دراسات علم الآثار إلى تشكيلة واسعة من الدراسات التاريخية.

2. أحد الرواد الذين اقتفوا أثر التغير الوراثي البشري هو العالم الوراثي الأمريكي المولود في إيطاليا لويجي لوكا كافللي-سفورزا (1994 & 2000) ولقد أسهم إلى حد كبير عمله ودراساته التي قدمها تلميذه، عالم الوراثة الأمريكي سبنسر ويلز، في وجهة النظر الراهنة حول هجرة البشر في العالم كله خلال الخمسين ألف سنة الأخيرة. ومن المرجَّح أكثر، أن الجهود الراهنة لمزيد من التفسير في الأعمال حول الجينوم البشري سوف تسهم إلى حد كبير في فهم أفضل للتأثير المتبادل بين الثقافة والوراثة البشرية خلال العشرة آلاف سنة الماضية. والدراسة الوحيدة التي أعرفها التي بُذل فيها جهد شامل لتقديم وجهة نظر شاملة حول الجنس البشري بالنسبة لتركيبهم الثقافي والوراثي كتبها المهندس الكولمبي أنطونيو فيليز (2007). بينما كنت أصوغ بشكل نهائي المخطوطة في 2009، أصبحت منتبهًا لكتابين مثيرين للجدل يتعاملان مع التغير الوراثي البشري خلال العشرة آلاف سنة الماضية، وهما Wills (1999) and Cochran & Harpending (2009). وكلاهما يذكران أن الثقافة البشرية قد جعلت التطور البيولوجي الإنساني يتسارع.

3. حسب معرفتي، كان ألكسندر فون هامبولدت هو أول أخصائي يستخدم مثل هذه المقاربة. انظر أيضًا Chambers (1994), White (1943, 1959 & 1975), McNeill (1976), Darlington (1969), Tainter (1988), Smil (1994), Lapperre (1997), Diamond (1997), Spier

(1992, 1996 & 2005a), Allen, Tainter & Hoekstra (2003), McNeill & McNeill (2003), Christian (2004), Crosby (2006) and Burroughs (2006).

4. تم غالبًا تأكيد فكرة أن التاريخ البشري عملية لم يتم تخطيطها بواسطة روبرت إلياس، ضمن آخرين، وخلفه Johan Gouldsblom.

5. من أجل ترجمة إنجليزية للحكاية الأصلية، انظر Caesar (1984). وأنا مدرك لاحتمال أن ليس كل الأشياء التي ذكرها قيصر قد تعكس وجهات نظره الصادقة حول ما حدث بالفعل. ربما لم يكتب حتى النص بنفسه. ومن المحتمل أيضًا أن النص قد تم تعديله بعد كتابته له. تلك مشاكل مميزة لكل الوثائق التاريخية. لكن حتى لو كانت الأمور قد حدثت بشكل مختلف عما تم وصفه، يمكن على الأقل تفسير قصة قيصر باعتبارها محاولة لنقل حكاية معقولة عن كيفية حدوث هذه الأمور.

6. حصلت على هذا الملخص (وهو ممتاز من وجهة نظري) في 12 أبريل 2007 على الموقع التالي في شبكة المعلومات العالمية http: / /sights.seindal.dk /sight /766_Julius_Caesar- 3.html. وربما تمت كتابة النص بواسطة العالم الدنماركي في العلوم البينية رينه سيندال.

7. William McNeill في خطاب شخصي بتاريخ 30 نوفمبر 2007.

8. يقينًا، تم تدجين بعض الحيوانات لأغراض غير تحويل الطاقة الحيوية. تم تدجين الكلاب، على سبيل المثال، باعتبارها رفاق في الصيد، وبذلك تساعد على تحسين تركيز الحيوانات الفرائس. في النظام الزراعي، أصبحت مفيدة في حراسة الناس وأملاكهم، وبذلك حلت محل البشر في هذه الوظائف. وفقط في وقت حديث جدًا بدأت المحافظة على الكلاب لأغراض عاطفية، ومن جديد حلت محل البشر إلى حد ما على الأقل. تم تدجين القطط للامساك بالقوارض، والتي قد تنهب إمدادات الطعام المخزونة. وفي وقت أكثر حداثة، بدأت القطط أيضًا في تغطية احتياجات عاطفية. ولقد خدمت تشكيلة كبيرة من النباتات في أغراض غير الإمداد بالطعام. وتتضمن هذه المهام الصبغات والكثير من أنواع الديكور.

9. Niele (2005), p. 51ff.

10. من المثير للاهتمام، لخص داروين في كتابه «أصل الأنواع»، عملية التدجين ثم استخدمها لتفسير الانتقاء الطبيعي.

11. Budiansky (1992).

12. انظر، على سبيل المثال، Cohen (1977), Reed (1977), Redman (1978), Heiser (1990), Renfrew & Bahn (1991), Budiansky (1992), Fiedel (1992), Cunliffe (1994), Simmons (1994), Sanderson (1995), Smith (1995), Bellwood (2005) and Burroughs (2006).

13. انظر، على سبيل المثال، Lewis (1972), Cohen (1977), pp. 21-7, Fiedel (1992), p. 168, Harris (1990), Reed (1977) and Smith (1995), pp. 16-18.

14. في عام 1992، اكتشف العلماء الأستراليون سبريجس، وويكلر ولوي آثار سلالات قلقاس مدجّنة على أدوات قديمة تعود إلى نحو 28 ألف سنة في جزر سليمان، بينما عثر عالم الآثار البريطاني جوردون هيلمان على أحجار مصقولة ودرنات في وادي القبانية، موقع في مصر، تعود إلى ما بين 17 و18 ألف سنة، انظر Dayton (1992), p. 14, Loy, Spriggs & Wickler (1992) and Harris &

Hillman (1989). وفي 2009، نشر كويجت وفينلايسون نتائج أبحاثها الطويلة حول الانتقال من الصيادين والجامعين إلى مزارعين في قرية الدهرة الأردنية. ومن المعروف جيدًا أن الزراعة لم تكن ابتكارًا إنسانيًا على وجه الحصر. فالنمل، على سبيل المثال، يزرع الفطر في حفره، انظر، على سبيل المثال، Muller, Gerardo, Aenen, Six & Schultz (2005).

15. Kennett, Kennett, West et al. (2009).

16. Cf. Gamble in Cunliffe (1994), p. 18, and Wright Jr. in Reed (1977), pp. 281-318.

17. Smith (1995), p. 211.

18. Harris (1990).

19. Burroughs (2006), p. 191 & p. 193. وانظر أيضًا Hillman, Hedges, Moore, Colledge & Pettitt (2001).

20. أسهب عالم الآثار القديمة البريطاني أندرو شيرات في أهمية استخدام الحيوان لأغراض أخرى غير أكله. وأطلق على ذلك «ثورة المنتجات الثانية» 1981.

21. Crosby (1972, 1993 & 2006). في العام 1998، تم تقديم هذه الأدلة بشكل واضح جدًا بواسطة العالم الأمريكي جاريد دياموند في كتابه «مدافع، وجراثيم وصلب». ومع ذلك تعتبر هذه التبصّرات قديمة جدًا. ولقد أشار عالم الوراثة البريطاني سيريل دارلنجتون إليها في كتابه «تطور الإنسان والمجتمع» (1969), 70 .pp-1 578 .and pp-82 (والذي يعتبر مصدر إلهام لجاريد دياموند)، بينما كتب ألكسندر فون هامبولدت بالفعل في «الكون» (1845), p. 294: «إلى أي حد يمكن أن تختلف حالة درجة الحرارة على الأرض، وبالتالي، حالة الحياة النباتية، ورعاية الحيوانات، والمجتمع البشري، لو أن المحور الرئيسي للقارة الجديدة كان له اتجاه محور القارة القديمة نفسه، ولو أن سلاسل الجبال، على سبيل المثال، بدلًا من أن يكون لها اتجاه جنوبي، يميل من الشرق إلى الغرب، ولو أنه لم تكن هناك قارة استوائية متشعبة، مثل إفريقيًا، إلى جنوب أوربا، ولو أن البحر الأبيض المتوسط، الذي كان يتصل في وقت ما ببحر قزوين والبحر الأحمر، والذي أصبح وسيلة بالغة القوة للربط المتبادل بين البلدان، لم يوجد أبدًا، أو لو أنه كان قد ارتفع مثل سهول لومباردي وقورينة Cyrene؟». في صفحة 327 أضاف أن: «كان لهذه الظروف في كل الأوقات تأثيرات قوية على صفة وزراعة المنتجات الطبيعية، وعلى سلوك مؤسسات البلدان المجاورة، بل وحتى على المشاعر التي ينظرون بها كل منهم للآخر. وصلت صفة الفردية الجغرافية إلى أقصاها، لو سمح لنا بهذه الطريقة في الحديث، في بلدان كانت فيها اختلافات ترتيب التربة في أقصى احتمالاتها، سيان في الاتجاه الرأسي أو الأفقي، في كلًا من التضاريس أو في مفصل القارة». في «الكون» صفحة 48، أشار فون هامبولدت إلى كتاب *Erdkunde Im Verhältniss zur Natur und zur Geschichte* لكارل ريتر باعتباره مساهمة مهمة في المناقشة حول كيفية تأثير الجغرافيا على كلًا من البيولوجيا والتاريخ البشري.

22. Roberts (1998), p. 136.

23. عداد السكان: Us Census Bureau, March 2009, www.census.gov /ipc /www /world-his.html وهذه الأرقام تعتبر، بالطبع، تقديرات تقريبية.

24. Wolf (1982), p. 88ff.

25. Mann (1987), p. 39ff.

26. Smith (1995), pp. 211-12.

27. لحكاية حول ديناميكا الولائم التنافسية في الأنديز في بيرو، انظر Spier (1995). ولمزيد من الحكايات العامة، انظر Wolf (1966).

28. هذه الأفكار مأخوذة عن Allen, Tainter & Hoekstra (2003), p. 61ff.

29. لمليل نوربيرت إلياس لظهور الزمن كمفهوم اجتماعي في كتابه «الزمن: محاضرة» *Time: An Essay* (1992b) نُشر أولاً باللغة الهولندية في 1982، يعتبر حتى الآن أفضل تحليل أكاديمي قرأته للموضوع.

30. للتوازن بين القيد الذاتي والقيد الخارجي، انظر Elias (1982), pp. 229-333.

31. حول ظهور الأديان الزراعية، انظر، على سبيل المثال، Goudsblom, Jones & Mennell (1996), pp. 70-8, McNeill (1963), pp. 18-22 and pp. 33-40, Elias (1992b) and Spier (1994 & 1996)

32. Cf. Spier (1994).

33. من أجل مثال حول هذه الأعمال في بيرو الأنديز، انظر Spier (1995).

34. قد يجادل علماء الأنثروبولوجيا بأن مجتمعات الجامع- الصياد، مع أنها صغيرة، ربما كانت متعددة الوظائف، ومن ثم كان فيها ارتباطات أكثر تعقدًا من المزارعين. ورغم ذلك إذا وضعنا في الاعتبار كل الأمور، يبدو أن المجتمعات الزراعية أكثر تعقدًا بالنسبة لي.

35. لملخص للمناقشة حول هجرة المزارعين في كل أوربا في مواجهة تبنى الزراعة في أوربا بواسطة الجامع- الصياد، انظر Burroughs (2006). Pp. 204-7.

36. لاحظت مثل هذا الموقف خلال دراستي للمزارعين في بيرو والأنديز، انظر Spier (1994 & 1995).

37. انظر، على سبيل المثال، Rathje & Murphy (1992), pp. 32-3

38. انظر، على سبيل المثال، Simmons (1994), pp. 14-27

39. انظر، على سبيل المثال، White (1959), pp. 45-57, Cohen (1977), Redman (1978), Heiser (1990), Budiansky (1992), Fiedel (1992), Simmons (1994), Sanderson (1995), Smith (1995), Mears (2001), Christian (2004) and Bellwood (2005).

40. انظر McNeill (1976) and Swabe (1998). لعل الأمراض المعدية قد قفزت أيضًا من البشر إلى الحيوانات. وقد تكون تلك هي حالة مرض السل (Hershkovitz, Donoghue, Minnikin et al (2008).

41. Cook (1971), p. 136. عبّر كوك عن بياناته بـ كيلوكالوري/ 24 ساعة. ولقد أعدت حسابها بافتراض أن 1 كالوري = 4,19 جول. والنتيجة أن 1000 كيلوكالوري/ 24 ساعة = 48,5 واط. وبافتراض أن متوسط وزن جسم الجامع- الصياد 40 كج، تعطي بيانات كوك كثافة قوة للجامع- الصياد 3 واط/ كج. وذلك يقترب إلى حد ما من تقدير شايسون 2 واط/ كج، والذي قام على أساس متوسط وزن الجسم 70 كج (وهو، كما أظن، مرتفع جدًا بعض الشيء). ورغم ذلك لو أننا استخدمنا متوسط الوزن هذا، يصبح التطابق بين بيانات كوك وشايسون كاملًا افتراضيا. انظر أيضًا Simmons (1994), p. 24, and Bennett (1976), pp. 42-3.

42. انظر Weber (1997), p. 154, and Elias (1978b & 1982).

43. Cf. McNeill (1976 & 1984) and Crone (1989), pp. 39-40.

44. Carneiro (1970). وكما ورد في الفصل الأول، فإن هذه الأفكار أكثر قدما في الحقيقة. فبالفعل في 1844، كان روبرت شامبرز قد اقترح أن ظهور «الحضارات» من المحتملَ أنه ظهر فقط تحت شروط مقيدة بالأحرى (1996), pp. 300-4.

45. انظر Kennett & Kennett (2006).

46. من أجل مناقشات اجتماعية حول أهمية الدين خلال التكوين المبكر للدولة، انظر، على سبيل المثال، Goudsblom in Goudsblom, Jones & Mennell (1996), p. 70ff, and Mann (1987), pp. 45-9.

47. Fagan (1999, 2000, 2004 & 2008).

48. انظر، على سبيل المثال، Fagan (1999, 2000, 2004 & 2008) and Geel, Bokovenko, Burova et al (2004).

49. بالنسبة للتجارة، انظر، على سبيل المثال، الدراسة الرائدة عام 1984 لـ Philip Curtin، انظر Curtin (1994).

50. Anderson (1991).

51. زعم بالقدرة على حل المشاكل المستعصية بالوسائل الدينية بثمن معيّن، أي المنشور الذي وُضع في صندوق بريدنا في أمستردام في 22 يناير سنة 2008، كان يحتوي على الرسالة التالية بالهولندية والإنجليزية: «السيد خادم: الدفع بعد النتيجة. اسمح لي بتقديم نفسي]هكذا الأمر[: أنا إفريقي حقيقي، دولي، وسيط سريع. يمكنني المساعدة في: عودة أشخاصك المحبوبين أو أحبائك، أو مؤسستك]هكذا الأمر[، أو امتحانك، أو فرصة للسعادة، أو العجز الجنسي أو العقم، أو الأرواح الشريرة، حتى عندما تكون مشاكلك مستعصية. أضمن لك نتيجة سريعة».

52. Mcneill & Mcneill (2003), p. 7.

53. Mcneill (1976), p. 6ff.

54. Sprague de Camp (1993), p. 372 and p. 13.

55. بالنسبة لـ Lyon Sprague de Camp (1993), p. 372, لم تكن كلمة «حضارة» إيجابية بالضرورة: «الحضارة تختص بالسلطة على عالم الطبيعة والمهارة في استغلال هذا العالم. وليس لها علاقة بالدماثة، أو الاستقامة، أو السلمية. توجد هذه الفضائل مبعثرة - بالأحرى مخفَّفة، للأسف - خلال مجمل الجنس البشري، رغم أنها توجد لدى بعض الناس أكثر من غيرهم ويتم تشجيعها في بعض الثقافات أكثر من غيرها».

56. Mumford (1961), p. 75.

57. Rathje & Murphy (1992), pp. 34-5.

58. Rathje & Murphy (1992), p35, Blegen (1963) and Gunnerson (1973).

59. Cf. McNeill (1998b).

60. Sprague de Camp (1993). P. 147.

61. Niele (2005), p. 65ff.

62. انظر، على سبيل المثال، (McNeill (1963 & 1984.

63. Christian (2004). P. 389ff.

64. من أجل كتاب ممتاز حول أهمية الطباعة، انظر (Eisenstein (1993.

65. انظر، على سبيل المثال، Sanderson (1995), p. 175.

66. انظر، على سبيل المثال، Crosby (1972 & 1993) and Flynn & Giráldez (1995, 2002 & 2008). يُقال أحيانًا إن الأحجام التي تم نقلها بواسطة هؤلاء القائمين الأوائل بالعولمة صغيرة جدًا بالفعل مقارنة بكميات الحمولة التي يتم نقلها الآن، انظر، على سبيل المثال، (Emmer (2003. ونتيجة لذلك، لعل تأثيرها كان بالفعل صغيرًا جدًا. ورغم ذلك كان الكثير من هذه المنتجات، مثل النباتات، والبذور والحيوانات، ما يمكن تسميته بـ «مضاعفات»، لأنها تضاعفت سواء بتوجيه بالأيدي البشرية أو من خلال الهروب إلى البرية أكثر بكثير من الأعداد التي كان يتم حملها على هذه السفن.

67. لمثل هذه المجادلات، انظر، على سبيل المثال، Weber (1927), p. 337, Wallerstein (1974) and Allen, Tainter & Hoekstra (2003), p. 140ff.

68. Allen, Tainter & Hoekstra (2003), p. 148.

69. Crosby (1997).

70. انظر، على سبيل المثال، (Snow (1988) and Menzies (2002.

71. هناك الكثير جدًا من الكتب حول الثورة العلمية. أفضل كتاب، من وجهة نظري، في اللغة الهولندية كتبه المؤرِّخ العلمي الهولندي فلوريس كوهين (2007). ومن المزمع نشر نسخة إنجليزية بواسطة Johns Hopkins Press.

72. Von Humboldt (1995), pp. 74–5. ومن أجل وجهة نظر شاملة دقيقة للاستخدامات الكثيرة للنفط في وسط آسيا قبل المحركات، انظر (Bilkadi (1995.

73. حكاية التصنيع المبكر الواردة هنا قد لا يمكنها تغطية المطبوعات التقليدية الهائلة والمعقدة التي تم تكريسها لهذا الموضوع في العقود الحديثة، والكثير منها موجه إلى السؤال حول سبب أن التصنيع لم يحدث في أماكن أخرى أو في أزمنة أخرى. ومع ذلك، يمكن ملاحظة أنه تمامًا كما توضح حجتي حول كيف أن ظروف جولديلوكس كانت ضرورية لتطوير ما هو موجود بالفعل، وتشير إلى بعض الظروف الرئيسية التي أدت إلى وجودها، يمكن البرهنة على أنه، على العكس، لم توجد ظروف جولديلوكس في أزمنة وأماكن أخرى، أو أنه لم يتم التغلب على عقبات أمام ابتكارها.

74. انظر، على سبيل المثال، De Vries (2008), Fieldhouse (1973), Hobsbawm (1968), Landes (1969 & 1998), Pollard (1992), Pomeranz (2000), Smil (1994), Stearns (1993) and Wallerstein (1989).

75. Livi-Bacci (1992), pp. 100-1.

76. أنتجت هذه التقنية الكثير جدًا من التعقد بينما كان يتم استخدام مادة وطاقة أقل بكثير. من الواضح، أنه حدثت دفعة لافتة للانتباه نحو الوصول إلى مستويات كفاءة أعلى غير مسبوقة.

77. من المثير للاهتمام، أنه أصبح من السهل الوصول إلى كمية كبيرة من المعلومات نتيجة لترقيم البيانات على الإنترنت، ولعل ذلك يسبب أيضًا تدمير المعلومات. على سبيل المثال، بينما يتم البحث لتعقب

موضوع مجلة تايم في يناير 1969، التي تحمل صورة ظهور الأرض، وجدت أن كل المكتبات التي يسهل الوصول إليها من خلال الإنترنت تخلصت على ما يبدو من نُسَخِها الورقية لهذه المجلة، بينما يحتوي موقع www.Time.com على مقالات عن كل الموضوعات الماضية ولكنه لا يحتوي على صور أو إعلانات. ولعل هذا التدمير الصامت الكثيف للبيانات جزء من عملية أكثر عمومية للنسيان الثقافي. ولقد نجحت في تعقّب هذا الموضوع بالبحث عن محلات بيع الكتب المستعملة على الإنترنت.

78. تعتبر عولمة الدين الأنديزي التقليدي في المقام الأول نتيجة لجهود عالم الأنثروبولوجيا من بيرو جوان فكتور نانيز ديل برادو، انظر، على سبيل المثال، Jenkins (1997).

79. في عام 1948 تنبأ عالم الفلك البريطاني فريد هويل بتأثيرات صورة شاملة للأرض كما يلي: «بمجرد توافر صورة فوتوغرافية للأرض، تم التقاطها من الخارج، سوف نحصل، من الناحية العاطفية، على بعد إضافي... بمجرد جعل العزل الكامل للأرض واضحًا لكل شخص، أيًا كانت قوميته أو عقيدته، سوف تكون هناك فكرة جديدة بقوة أية فكرة في التاريخ»، تم اقتباسها في Goldberg (1991), p. 52. يقينًا، مع البشر الآن وقد أرسلوا كائنات حية مجهرية أرضية عبر المجموعة الشمسية كلها باعتبارها رحالة غير متعمدة على مجسّات الفضاء التي لا تتضمن بشرًا.

80. وكالة الطاقة الدولية (2007)، وقد تم تحميلها من www.iea.org. لتسهيل المقارنة بالأرقام التي وردت سابقًا، تم تحويلها إلى واط لكل فرد. ولقد تم فعل ذلك أيضًا بالبيانات التي وردت في جداول أخرى.

. ومن المثير للاهتمام، أنه في هذه الإحصائيات لا توجد البتة قلة من البلدان الفقيرة مثل بوروندي. وتبعًا لوكالة الطاقة الدولية، يتكافأ طن من النفط مع toe وهو الطاقة الموجودة في الطن المتري (1000 كج) من النفط الخام ويساوي 10^7 كيلو كالوري، 41,868 جيجا جول، أو 11628 كيلووات ساعة. ونتيجة لذلك، فإن toe 1 لكل ثانية = $1,33\times10^3$.

81. لقد حسبت كثافة قوة طاحونة الهواء الهولندية باستخدام مجمل الوزن، نحو 60 ألف كج، للطاحونة التي تم نقلها بالنقل البحري منذ عقد إلى الولايات المتحدة حيث تم إنشاؤها في عام 2000 في فالتون، في المسيسبي. وتبعًا لمواقع هولندية متعددة في شبكة المعلومات العالمية، كان لمثل هذه الطواحين الهوائية خرج نحو 10 آلاف واط. تم حساب كثافة طاقة محرك المكوك الفضائي باستخدام بيانات من موقع ناسا على الشبكة، بينما قمت بحساب قيمة الطاحونة الألمانية الحديثة بمساعدة بيانات من موقع ألماني على الشبكة لا يمكنني الآن تتبعه.

82. التحليل الممتاز للحياة المدنية من حيث استخدام الطاقة هو Trefil (1994).

83. لجنة التأثيرات الاجتماعية والاقتصادية لحوادث طقس الفضاء الحادة (2008).

84. انظر Trivedi (2007). لوجهات نظر شاملة ممتازة عن تأثير الإنسان على البيئة الكوكبية، انظر، على سبيل المثال، Ponting (1992) and McNeill (2000).

85. انظر، على سبيل المثال: Diamond (1987), Leakey & Lewin (1995) and Vitousek, Mooney, Lubchenco & Melillo (1997).

ملاحظات الفصل الثامن

1. ما بين 2 و5 مليار سنة من الآن، سوف تتقابل مجرتنا مع سَديم أندروميدا. وسوف يكون لذلك نتائج لا يمكن التنبؤ بها بالنسبة لأي حياة قد تظل موجودة عندئذ في مجموعتنا الشمسية.
2. Cf. Raup (1993).
3. Broda (1975 & 1978), Cook (1971 & 1976), Debeir, Deleage & Hemery (1991), Fox (1988) and Odum (1971). انظر أيضًا الموضوع الخاص في مجلة «الأمريكي العلمي» Energy and Power وتتضمن دراسات الطاقة المهمة الحديثة MacKay (2008), Niele (2005) and Smil (1991, 1994, 1999, 2002, 2003 & 2006).
4. Hubbert (1971). في عام 1956، في بحث لمؤتمر (أمر تقليدي الآن)، تنبأ م. كينج هابيرت بقمّة نفطية في الولايات المتحدة حدثت ما بين أعوام 1965–1970 (1956), p. 61. والقمة النفطية هي المستوى الأعلى المتاح لإنتاج النفط، وبعده يحدث انخفاض حتمي نتيجة استنزافه. حدثت القمة النفطية في الولايات المتحدة بالفعل في عام 1971. وفي البحث نفسه، تنبأ هابيرت بقمة نفطية عالمية (باستثناء النفط من رمال القطران) تحدث نحو عام 2000، انظر Hubbert (1956), p. 22. في عام 2007، قال لي مصدر جدير بالثقة من داخل صناعة النفط إن شركته ترى أن القمة النفطية العالمية (للنفط الذي يمكن استعادته بسهولة) قد حدثت سنة 2004.
5. Odum (1971), p. 18.
6. من الجدير بالملاحظة أن المتغيرات التي اختارها باحثو معهد ماساشوسيتس للتقنية تتطابق تمامًا تقريبًا مع المقاربة النظرية التي يتم الدفاع عنها في هذا الكتاب. ويجعلني ذلك أتساءل حول سبب أن الأمر احتاج لكل هذا الوقت الطويل قبل تطبيق هذه المبادئ على دراسة التاريخ، بالإضافة إلى سبب احتياجي كل هذا الوقت الطويل لفعل ذلك. وكما أرى الأمر، قلة قليلة جدًا من علماء الاجتماع والمؤرِّخين ترغب في الوقت الراهن في التفكير بشكل منظم من خلال مثل هذه الاتجاهات، لأنهم يشعرون بأن مجال دراستهم يتعامل مع قضايا أعلى ثقافيًا وليس مع مثل هذه الاعتبارات العادية. وسوف تبرهن أحداث المستقبل على أنهم كانوا على خطأ.
7. لتقرير براندتلاند، انظر المفوضية الدولية للبيئة والنمو (1987).
8. Cortright (1975).
9. Turner (2008).
10. انظر Allen, Tainter & Hoekstra (2003). في بحث غير منشور باللغة الهولندية (1984) بعنوان «مقاربة لمشاكل بيئية»، حللت الموضوعات البيئية المنبثقة بمساعدة الديناميكا الحرارية.
11. النمو السكاني الذي يفوق الموارد الطبيعية كان أساس الجدال الذي لخصه المتخصص البريطاني توماس روبرت مالتوس (1798)، في «مقالة حول مبادئ السكان».
12. في معظم منظومات المعاش المعمم، لا تزال الأجيال الأكثر شبابًا تدفع كميات كبيرة من المال للمحافظة على الكهولة. ورغم ذلك يكلف أطفال الريف كثيرًا، بينما لا حاجة مباشرة إليهم من أجل معاش المرء الخاص في ما بعد في حياته. ونتيجة لذلك، لا يشعر الكثير من الناس بحاجة اقتصادية لأن يكون لديهم أطفال، وهو ما يسهم بشكل كبير في الانخفاض الحالي للخصوبة. في هذه

الفقرة، لا أزعم تقديم نظرية شاملة كاملة لكل محددات النمو السكاني. ومن أجل وجهة نظر شاملة عامة، انظر Livi-Bacci.

13. Strahan (2008). تقدير «عقود متعددة» من اليورانيوم يقوم على افتراض أن استهلاكه سيزداد إلى حد كبير عندما يقترب مخزون أنواع الوقود الأخرى في الانتهاء. ويبدو أن مخزون الميثان الشبكي في قاع البحر البارد كبير جدًا، ربما بحجم كل أنواع الوقود الأحفوري معًا. وقد يكون استخراجه مثير للجدل، ليس على الأقل لأن الميثان غاز احتباس حراري قوي. وخلال استغلال هذا المخزون، قد يكون من الصعب جدًا منع «الضواحي» الكبيرة الخارجة عن السيطرة في الجو مما يؤدي إلى المزيد من ارتفاع الحرارة على المستوى العالمي، cf. Pearce.

14. يؤكد الكثير من الناس على أننا سنحتاج إلى العودة إلى أسلوب الحياة القائم على الطاقة المتجددة. وتتضمن الكتب الممتازة عن الطاقة في المستقبل Smil (2003) and Niele (2005).

15. Daviss (2007).

16. McKenna (2008).

17. فكرة أنه سيكون على الناس العيش بشكل أكثر اعتدالًا نتيجة للقيود البيئية تمت صياغته بشكل بليغ بواسطة عالم الاقتصاد البريطاني إ. ف. شوماشر (1989) في كتابه (المطعون فيه غالبًا) «الصغير جميل: الاقتصاد كما لو أن الناس ذوي أهمية».

18. من أجل مخزون الفوسفات، انظر، على سبيل المثال، Zapata & Roy (2004) and EcoSanres (2008).

19. انظر، على سبيل المثال، Christian (2004).

20. كانت هذه المعلومات متوفرة في مايو 2009 في http: / /science.nasa.gov /headlines / y2009 /27may_ phantomtorso.html.

21. الصفة البشرية المميزة (ولعلها تقوم على الوراثة) في الحصول على المزيد من المادة والطاقة أكثر مما يحتاج إليه الإنسان للبقاء والتكاثر هي، من وجهة نظري، السبب الجذري الأساسي للانكماش الاقتصادي العالمي الذي بدأ في عام 2008.

مصطلحات

- إشعاع تكيفي adaptive radiation: تشعّب فصائل حية أو نوع محدَّد من أشكال مختلفة تتكيف وفقًا لظروف بيئية محددة.
- مركزية البشر anthropocentrism: اعتبار أن الإنسان هو حقيقة الكون المركزية.
- الأنثروبولوجيا anthropology: علم الإنسان: الدراسة العلمية لأصل التصرفات والتطورات الجسمية والاجتماعية والثقافية للبشر.
- المحيط الحيوي biosphere: الجزء من الأرض وغلافها الجوي الذي يُبقي على الحياة.
- كمبري Cambrian: متعلق بالعصر الكمبري الذي هو أقدم أزمان الدهر الباليوزي الذي اتصف ببحاره الدافئة وأراضيه الصحراوية.
- العصر الكربوني أو الفحمي carboniferous: يتميز بتشكل المستنقعات وترسّبات النباتات التي تحولت إلى فحم فيما بعد.
- الكرونولوجيا chronology: العلم الذي يبحث في تحديد التواريخ وتسلسل الأحداث.
- كرونومتري chronometric: مُقاس بالكرونومتر، وهو أداة لقياس الزمن بدقة بالغة.
- الحيد المرجاني coral reef: سلسلة من الصخور البحرية المقاومة للانجراف متكون بشكل رئيسي من مرجان متلاحم.

- ديموجرافيا demography: الدراسة الإحصائية للسكان من حيث الحجم، والنمو، والكثافة، والتوزيع والإحصاءات الحيوية.
- العصر الديفوني Devonian: متعلق بالعصر الجيولوجي الرابع من العهد الباليوزي الذي يتميز بظهور الغابات والبرمائيات.
- ظاهرة دوبلر Doppler effect: اختلاف واضح في تردد الموجات الصوتية أو الضوئية نتيجة حركة نسبية بين المصدر وراصد بحيث يزداد التردد عند اقتراب المصدر والراصد ويقل عند ابتعادهما.
- مبدأ جولديلوكس أو مبدأ ظروف الحياة المستدامة Goldilocks Principle: تعود التسمية إلى قصة أطفال إنجلوسكسونية عن فتاة صغيرة في بيت دببة في غابة، جربت عصيدة في طاسة كبيرة ومتوسطة وصغيرة وما بين ساخنة جدًا وباردة جدًا وجدت أن العصيدة في الطاسة الصغيرة هي المناسبة تمامًا. ويشير المصطلح إلى الظروف التي تحدّ من ظهور واستمرار وجود الأنواع المختلفة من التعقد.
- إنتروبيا entropy: عامل رياضي يعتبر مقياسًا للطاقة غير المستفاد منها في نظام ديناميكي حراري، وهي مقياس للفوضى والعشوائية في نظام مغلق.
- العصر الأيوسيني Eocene: الذي تميز بظهور الثدييات.
- خلية حقيقية النواة Eukaryote: خلية تحوي عضيات ونواة حقيقية كما في خلايا جميع النباتات والحيوانات العليا.
- أحفور، مستحاث fossil: بقايا حيوان أو نبات من عصر جيولوجي سالف.
- جينوم genome: مجموعة العوامل الوراثية: مجموعة كاملة من الكروموسومات أحادية الصبغيات والجينات المصاحبة.
- جيوديسي geodesical: متعلق بعلم شكل الأرض ومساحتها.
- جشتالت gestalt: بنية أو صورة من الظواهر الطبيعية أو البيولوجية أو السيكلوجية متكاملة بحيث تؤلف وحدة وظيفية ذات خصائص لا يمكن استمدادها من أجزائها بمجرد ضم بعضها إلى بعض.
- جلوتين gluten: مادة بروتينية دبقة توجد في بعض الحبوب كالقمح تجعله شديد اللزوجة يستخدم غراء وبديلًا للدقيق.

- دبال humus: مادة عضوية ذات لون بني أو أسود لها خواص السماد تتألف من بقايا نباتية متحللة بشكل كلي أو جزئي وتوفر غذاء للتربة وتزيد من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء.
- الطاقة الحركية kinetic energy: الطاقة التي يمتلكها الجسم بسبب حركته والتي تساوي نصف كتلة الجسم مضروبًا بمربّع سرعته.
- ليبيد lipid: مركّب عضوي غير قابل للذوبان في الماء ولكنه قابل للذوبان في المذيبات العضوية ويؤلف مع الكربوهيدرات والبروتينات المادة الأساسية لخلايا الكائن الحي.
- الأيض metabolism: عمليات البناء والهدم داخل الخلية الحية التي تعمل على إمدادها بالطاقة اللازمة للحياة والعمل.
- حُبيبات خيطية mitochondria: بنية غشائية في هيولي الخلية تحتوي على منظومات إنزيمية معقدة لإنتاج الطاقة بالتنفس الخلوي. وتختزن الحبيبات الخيطية الطاقة الكيميائية في الخلية على شكل ثالث فوسفات الأدينوسين.
- الإنسان النياندرتالي Neanderthal: هو الإنسان المنسوب إلى وادي النياندرتال قرب دوسيلدورف في ألمانيا حيث وُجدت بقايا هيكل عظمي لإنسان قديم.
- استبقاء الشكل الجنيني neotony: بلوغ الحيوان النضج الجنسي في مرحلة الحداثة أو اليرقانة محتفظًا بمعالم تُفقد عادة في الحيوان البالغ.
- خاص بالعصر الحجري Paleolithic: خاص بالعصر الحجري من بداية الأدوات المصنوعة من الحجارة. العصر الحجري القديم.
- فرسخ نجمي parsec: وحدة لقياس المسافات بين النجوم تعادل ثلاث سنوات ضوئية وربع السنة تقريبًا.
- العصر البرمي Permian: خاص بآخر عصور الدهر القديم.
- التمثيل الضوئي photosynthesis: عملية تقوم من خلالها النباتات الخضراء وكائنات حية أخرى بتحليل الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون والماء باستخدام الضوء كمصدر للطاقة وعادة تطلق الأوكسجين كناتج ثانوي.
- الثريا Pleiades: مجموعة نجوم لامعة في كوكبة الثور تتألف من عدة مئات من النجوم ستة منها تبدو للعين المجردة.

- عصر بلستوسيني Pleistocene: خاص بالعصر الحديث المتسم بتتابع التجمّدات في الشمال وظهور الإنسان.
- بوزترون positron: جُسَيم موجب تعادل كتلته كتلة الإلكترون.
- رئيسيات primates: حيوانات من الثدييات من رتبة الرئيسيات التي تشمل الإنسان والقرد والتي تضم شبيهات الإنسان المتميزة بتطور ونمو الأيدي والأرجل وبأنف قصير ودماغ كبير.
- خلية بدائية النواة prokaryote: صفة للخلايا التي لا غشاء لها يغلّف المادة النووية، وليس فيها عضيّات، كالبكتيريا.
- جسيم ريبوسومي ribosome: جُسَيم دائري صغير مكوَّن من الحمض النووي الرايبوزي وبروتين، موجود في السيتوبلازم للخلايا الحية، ونشط في تركيب البروتينات.
- اختبار رورشاخ Rorscach test: اختبار للشخصية يتألف من بقع من الحبر متناثرة وغير متآلفة ويطلب من المفحوص إعطاء تفسير لها للكشف عن صفاته الذاتية.
- السافانا savanna: أرض عشبية منبسطة استوائية أو شبه استوائية.
- السيثياني:Scythian واحد من السيانيين وهم شعب هندي أوربي مترحّل معروف بالفروسية، أنشأ في المناطق الواقعة إلى الشمال من البحر الأسود إمبراطورية عَمَّرت من القرن الثامن، أو السابع، إلى القرن الثاني قبل الميلاد.
- الشامان shaman: هو فرد من بعض المجتمعات القبلية ويعمل على التوسط بين العالم المرئي وعالم الأرواح اللامرئية ويمارس السحر والشعوذة للعلاج والعرافة والسيطرة على الظواهر الطبيعية.
- بزاقة أو حلزونة snail: أي من الرخويات المائية أو البرية ذو صدفة حلزونية الشكل وقدم عريضة قابلة للانكماش ورأس بارز.
- شمعة قياسية standard candle: وحدة شدة إضاءة.
- ستراتوسفير stratosphere: الجزء الأعلى من الغلاف الجوي وهو أعلى من الطبقة السفلى وأسفل الطبيعة العليا.

- ستروماتوليتات stromatolites: رسابات مدورة طحلبية تعتبر أحافيرها من عصور ما قبل الكمبري أقدم الأحافير المعروفة.
- سوبرنوفا، أو متجدد أعظم supernova: ظاهرة سماوية نادرة الحدوث ينفجر فيه النجم ويظهر جسم لامع لفترة قصيرة ويصدر كمية كبيرة من الطاقة.
- المجموعات التصنيفية taxon وجمعها taxa: مجموعة أو فئة تصنيفية للأحياء مثل شعبة أو رتبة أو أسرة أو جنس أو نوع.
- تكتونية tectonics: دراسة معالم الأرض البنائية.
- التندرة tundra: منطقة خالية من الأشجار تقع بين المنطقة المتجمدة وخط الأشجار في المنطقة المتجمدة الشمالية. تربتها دائمة التجمد ونباتاتها بطيئة النمو.

ثبت المراجع

Adamowicz, Sarah J., Purvis, Andy & Wills, Matthew A. 2008. 'Increasing morphological complexity in multiple parallel lineages of the Crustacea.' *Proceedings of the National Academy of Science 105*, 12 (4789–91).

Adams, Fred & Laughlin, Greg. 1999. *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity*. New York, The Free Press.

Aiello, Leslie C. & Wheeler, Peter. 1995. 'The Expensive-Tissue Hypothesis: The Brain and the Digestive System in Human and Primate Evolution.' *Current Anthropology 36*, 2 (199–221).

Allègre, Claude & Scheider, Stephen H. 2000. 'The Evolution of the Earth.' In: Levy, David H. (ed.) *The Scientific American Book of the Cosmos*. New York, St. Martin Press & London, MacMillan (219–26).

Allen, Timothy F. H., Tainter, Joseph A. & Hoekstra, Thomas W. 2003. *Supply-Side Sustainability*. New York, Columbia University Press.

Allman, John Morgan. 1999. *Evolving Brains*. New York, W.H. Freeman & Co., Scientific American Library Series, No. 68.

Alperson-Afil, Nira. 2008. 'Continual fire-making by Hominins at Gesher Benot Ya'aqov, Israel.' *Quaternary Science Reviews 27*, 17–18, September (1733–9).

'Ancient blast too close for comfort.' *New Scientist*, issue 2628, 3 November 2007 (19).

Andel, Tjeerd H. van. 1994. *New Views on an Old Planet: A History of Global Change*. Cambridge, Cambridge University Press (1985).

Anderson, Benedict. 1991. *Imagined Communities: Reflections on the Origin and Spread of Nationalism*. London & New York, Verso (1983).

Asimov, Isaac. 1987. *Beginnings: The Story of Origins of Mankind, Life, the Earth, the Universe*. New York, Berkeley Books.

Aunger, Robert. 2007a. 'Major transitions in "big" history.' *Technological Forecasting and Social Change 74*, 8 (1137–63).

Aunger, Robert. 2007b. 'A rigorous periodization of "big" history.' *Technological Forecasting and Social Change 74*, 8 (1164–78).

'The Awesome Views from Apollo 8.' *Time Magazine* (Atlantic edition), 10 January 1969 (29).

Baron d'Holbach, Paul Henri Thiry. 1770. *Système de la nature. Ou des loix du monde physique & du monde moral* [published under the pseudonym of Jean Baptiste de Mirabaud]. London [= Amsterdam]: no publisher or printer mentioned.

Baron d'Holbach, Paul Henri Thiry. 2001. *The System of Nature or Laws of the Moral and Physical World*. Kitchener, Ontario, Canada, Batoche Books (1868).

Barraclough, Geoffrey. 1955. *History in a Changing World*. Oxford, Basil Blackwell.

Barrow, John D. 1995. *The Artful Universe*. Oxford, Clarendon Press.

Barrow, John D. & Tipler, Frank J. 1986. *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford, Oxford University Press.

Beatty, J. Kelly, Collins Petersen, Carolyn & Chaikin, Andrew (eds.). 1999. *The New Solar System, Fourth Edition*. Cambridge, Mass., Sky Publishing.

Belderok, Stein. 2008. 'Goldilocks in Petroleum Geology.' In: Keestra, Machiel (ed.) *Van denkrichting veranderen*. Amsterdam, Institute for Interdisciplinary Studies, University of Amsterdam (15–16).

Bellwood, Peter. 2005. *The Origins of Agricultural Societies*. Oxford, Blackwell.

Bennett, John W. 1976. *The Ecological Transition: Cultural Anthropology and Human Adaptation*. New York, Pergamom Press.

Bilkadi, Zayn. 1995. 'Land of the Naphtha Fountain.' *Saudi Aramco World* September/October (26–33). www.saudiaramcoworld.com/issue/199505/land.of.the.naphtha.fountain.htm.

Blegen, Carl W. 1963. *Troy and the Troyans*. New York, Frederick A. Praeger.

Bloch, Marc. 1984. *The historian's craft*. Manchester, Manchester University Press (1954, originally in French: 1949).

Boeke, Kees. 1957. *Cosmic View: The Universe in 40 Jumps*. New York, John Day Company.

Bolk, Louis. 1918. *Hersenen en cultuur [Brains and Culture]*. Amsterdam, Scheltema & Holkema.

Bolk, Louis. 1926. *Das Problem der Menschwerdung [The Problem of Becoming Human]*. Jena, Gustav Fisher.

Borman, Frank. 1969. 'A science fiction world – awesome, forlorn beauty.' *Life Magazine*, 3 February (19–20).

Bradley, Raymond S. 1991. *Global Changes of the Past*. Boulder, Co., UCAR/Office for Interdisciplinary Earth Studies.

Broda, E. 1975. *The Evolution of Bioenergetic Processes*. Oxford & New York, Pergamon Press.

Broda, E. 1978. *The Evolution of Bioenergetic Processes: Revised Reprint*. Oxford & New York, Pergamon Press.

Brown, P., Sutikna, T., Morwood, M. J. et al. 2004. 'A new small-bodied hominin from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia.' *Nature 431*, 28 October (1055–61).

Brown, James H., Gillooly, James F., Allen, Andrew P., Savage, Van M. & West, Geoffrey B. 2004. 'Toward a Metabolic Theory of Ecology.' *Ecology 85*, 7, July (1771–89).

Bryson, Bill. 2003. *A Short History of Nearly Everything*. London, Random House.

Budiansky, Stephen. 1992. *The Covenant of the Wild: Why Animals Chose Domestication*. New York, William Morrow.

Budyko, M. I. 1986. *The Evolution of the Biosphere*. Dordrecht, Netherlands & Boston, D. Reidel Publishing Company.

Bureau International des Poids et Mesures. 2006. *The International System of Units (SI)*. Organisation Intergouvermentale de la Convention du Métre. www.bipm.fr/en/home.

Burger, Richard L. 1992. *Chavín and the Origins of Andean Civilization*. London, Thames and Hudson.

Burroughs, William J. 2006. *Climate Change in Prehistory: The End of the Reign of Chaos*. Cambridge, Cambridge University Press (2005).

Caesar, Gaius Julius. 1984. *The Conquest of Gaul (De bello Gallico)*. Harmondsworth, Penguin Books.

Cairns-Smith, A. G. 1995. *Seven Clues to the Origin of Life*. Cambridge, Cambridge University Press, Canto (1985).

Carneiro, Robert L. 1970. 'A theory of the origin of the state.' *Science 169*, 3947 (733–8).

Carr, E. H. 1968. *What is History?* Harmondsworth, Penguin Books. (1961).

Carroll, Robert. 2000. 'Towards a new evolutionary synthesis.' *TREE 15*, 1 (27–32).

Caspari, Rachel & Wolpoff, Milford. 1998. *Race, Culture and Human Evolution*. Boulder, Co., Westview Press.

Cavalli-Sforza, Luigi Luca. 2000. *Genes, Peoples, and Languages*. New York, North Point Press.

Cavalli-Sforza, Luigi Luca & Cavalli-Sforza, Francesco. 1994. *The Great Human Diasporas: The History of Diversity and Evolution*. Reading, Mass., Addison-Wesley.

Chaikin, Andrew & Kohl, Victoria. 2009. *Voices From the Moon: Apollo astronauts describe their lunar experiences*. New York, Viking Studio.

Chaisson, Eric J. 1977. 'The Scenario of Cosmic Evolution.' *Harvard Magazine*, November–December (21–33).

Chaisson, Eric J. 1981. *Cosmic Dawn: The Origins of Matter and Life*. New York, W.W. Norton & Co.

Chaisson, Eric J. 1982. 'The broadest view of the biggest picture: An essay on radiation, matter, life.' *Harvard Magazine*, January–February (21–5).

Chaisson, Eric J. 1987. *The Life Era: Cosmic selection and conscious evolution*. New York, Atlantic Monthly Press.

Chaisson, Eric J. 1998a. *Universe: An Evolutionary Approach to Astronomy*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall.

Chaisson, Eric J. 1998b. 'The cosmic environment for the growth of complexity.' *Biosystems 46* (13–19).

Chaisson, Eric J. 2001. *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Chaisson, Eric J. 2003. 'A unifying concept for astrobiology.' *International Journal of Astrobiology 2*, 2 (91–101).

Chaisson, Eric J. 2004. 'Complexity: An Energetics Agenda.' *Complexity 9*, 3 (14–21).

Chaisson, Eric J. 2005. *Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos*. New York, Columbia University Press.

Chaisson, Eric J. 2008. 'Long-term global heating from energy usage.' *EOS, Transactions of the American Geophysical Union 89*, 28 (253–4).

Chaisson, Eric J. 2009. 'The heat to come ...' *New Scientist* issue 2702, 6 April (24–5).

Chaisson, Eric J. & McMillan, Steve. 2008. *Astronomy Today, Sixth Edition*. San Francisco, Pearson Addison Wesley.

Chambers, Robert. 1994. 'Vestiges of the Natural History of Creation.' In: Secord, James A. (ed.) *Vestiges of the Natural History of Creation and Other Evolutionary Writings*. Chicago & London, University of Chicago Press (i–390) (1844).

Chandler, David L. 2006. 'New World Order.' *New Scientist* issue 2579, 28 November (40–3).

Chown, Marcus. 2005. 'Did the big bang really happen?' *New Scientist* issue 2506, 2 July (30).

Chown, Marcus. 2007. 'Rival theory fights back against dark matter.' *New Scientist* issue 2623, 27 September (12–13).

Chown, Marcus. 2008. 'Land of the rising suns.' *New Scientist* issue 2670, 23 August (40–3).

Chown, Marcus. 2009. 'O others, where art thou?' *New Scientist* issue 2722, 22 August (37–9).

Christian, David. 1991. 'The Case for "Big History."' *Journal of World History 2*, 2 (223–8).

Christian, David. 2004. *Maps of Time: An Introduction to Big History*. Berkeley & Los Angeles, University of California Press.

Christian, David. 2009a. 'The Evolutionary Epic and the Chronometric Revolution.' In: Genet, Cheryl, Genet, Russell, Swimme, Brian, Palmer, Linda & Gibler, Linda (eds.) *The Evolutionary Epic: Science's story and humanity's response*. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press (91–9).

Christian, David. 2009b. 'History and Science after the Chronometric Revolution.' In: Dick, Steven J. & Lupisella, Mark L. (eds.) *Cosmos & Culture: Cultural Evolution in a Cosmic Context* (441–62).

Cloud, Preston. 1978. *Cosmos, Earth and Man: A Short History of the Universe*. New Haven & London, Yale University Press.

Cloud, Preston. 1988. *Oasis in Space: Earth History from the Beginning*. New York, W.W. Norton & Co.

Cochran, Gregory & Harpending, Henry. 2009. *The 10,000 Year Explosion: How Civilization Accelerated Human Evolution*. New York, Basic Books.

Cohen, Marc Nathan. 1977. *The Food Crisis in Prehistory: Overpopulation and the Origins of Agriculture*. New Haven & London, Yale University Press.

Cohen, H. Floris. 1994. *The Scientific Revolution: A Historiographical Inquiry*. Chicago & London, University of Chicago Press.

Cohen, H. Floris. 2007. *De herschepping van de wereld: Het ontstaan van de moderne natuurwetenschap verklaard*. Amsterdam, Bert Bakker.

Collingwood, R. G. 1993. *The Idea of History*. Oxford, Clarendon Press (1946).

Committee on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events. 2008. *Severe Space Weather Events – Understanding Societal and Economic Impacts Workshop Report*. Washington D.C., National Academies Press. www.nap.edu/catalog/12507.html.

Conway Morris, Simon. 1998. *The Crucible of Creation: The Burgess Shale and the Rise of Animals.* Oxford, Oxford University Press.

Cook, Earl. 1971. 'The Flow of Energy in an Industrial Society.' *Scientific American 225*, 3, September (134–47).

Cook, Earl. 1976. *Man, Energy, Society.* San Francisco, W.H. Freeman & Co.

Coppens, Yves. 1994. 'East Side Story: The Origin of Humankind.' *Scientific American 270*, 11, May (62–9).

Cortright, Edgar M. (ed.). 1975. *Apollo Expeditions to the Moon.* Washington, D.C., NASA SP-350.

Crabtree, Charlotte & Nash, Gary B. (Project Co-directors). 1994. *National Standards for World History: Exploring Paths to the Present: Grades 5–12 Expanded Edition.* Los Angeles, National Center for History in the Schools.

Crone, Patricia. 1989. *Pre-industrial Societies: New perspectives on the past.* Oxford, Basil Blackwell.

Crosby, Alfred W. 1972. *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492.* Westport, Conn., Greenwood Press.

Crosby, Alfred W. 1993. *Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe, 900–1900.* Cambridge, Cambridge University Press (1986).

Crosby, Alfred W. 1997. *The Measure of Reality: Quantification and Western Society, 1250–1600.* Cambridge, Cambridge University Press.

Crosby, Alfred W. 2006. *Children of the Sun: A History of Humanity's Unappeasable Appetite for Energy.* New York, W.W. Norton & Co.

Culotta, Elizabeth. 2007. 'Ancient DNA Reveals Neandertals With Red Hair, Fair Complexions.' *Science 318*, 5850, 26 October (546–7).

Cunliffe, Barry (ed.). 1994. *The Oxford Illustrated Prehistory of Europe.* Oxford & New York, Oxford University Press.

Curtin, Philip D. 1994. *Cross-cultural Trade in World History.* Cambridge, Cambridge University Press (1984).

Darlington, C. D. 1969. *The Evolution of Man and Society.* London, George Allen & Unwin.

Darwin, Charles. 1881. *The formation of vegetable mould, through the action of worms.* London, John Murray.

Darwin, Charles. 1985. *The Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life.* Harmondsworth, Penguin Books (1859, original title: *On the Origin of Species* ... etc.).

Darwin, Charles. 1989. *Voyage of the Beagle: Charles Darwin's Journal of Researches* (Edited and Abridged with an Introduction by Janet Browne and Michael Neve). London, Penguin Books (1839).

Darwin, Charles. 2004. *The Descent of Man: Selection in Relation to Sex* (James Moore & Adrian Desmond Editors & Introduction). Harmondsworth, Penguin Books (1871).

Davies, Paul. 1994. *The Last Three Minutes: Conjectures about the Ultimate Fate of the Universe.* London, Weidenfeld & Nicolson.

Davies, Paul. 2006. *The Goldilocks Enigma.* London, Allen Lane.

Daviss, Bennett. 2007. 'Our Solar Future.' *New Scientist* issue 2633, 8 December (32–7).

Dawkins, Richard. 1989. *The Selfish Gene*. Oxford, Oxford University Press (1976).

Dayton, Leigh. 1992. 'Pacific islanders were world's first farmers.' *New Scientist* issue 1851, 12 December (14).

Debeir, Jean-Claude, Deléage, Jean-Paul & Hémery, Daniel. 1991. *In the Servitude of Power: Energy and Civilization through the Ages*. London & Atlantic Highlands, N.J., Zed Books (1986).

De Camp, L. Sprague. 1993. *The Ancient Engineers: Technology and Invention from the Earliest Times to the Renaissance*. New York, Barnes & Noble Publishing (1960).

Delsemme, Armand. 1998. *Our Cosmic Origins: From the Big Bang to the emergence of life and intelligence*. Cambridge, Cambridge University Press.

Descartes, René. 1977. *Le Monde, ou, Traité de la lumière*. New York, Abaris Books (1664).

Diamond, Jared. 1997. *Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies*. London, Jonathan Cape.

Diamond, Jared. 1987. 'Human Use of World Resources.' *Nature 328*, 6 (479–80).

Diderot & d'Alembert. 1751. *l'Encyclopédie, ou Dictionnaire Raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers, par un société de gens de lettres*. Paris, Briasson, David, Le Breton, Durand. 17 volumes (1751–72).

Dillehay, Tom. 1997. *Monte Verde: A Late Pleistocene Settlement in Chile, Volume 2: The Archaeological Context and Interpretation*. Washington, D.C., Smithsonian Institution Press.

Drees, Willem B. 1996. *Van Niets tot Nu: Een wetenschappelijk scheppingsverhaal*. Kampen, Uitgeverij Kok.

Drees, Willem B. 2002. *Creation: From nothing until now*. London, Routlegde.

Drury, Stephen. 1999. *Stepping Stones: The making of our home world*. Oxford, Oxford University Press.

EcoSanRes. 2008. *Closing the Loop on Phosphorus*. Stockholm Environment Institute. www.ecosanres.org/pdf_files/ESR-factsheet-04.pdf.

Eisenstein, Elizabeth L. 1993. *The Printing Revolution in Early Modern Europe*. Cambridge, Cambridge University Press (1983).

Elias, Norbert. 1978a. *What is Sociology?* London, Hutchinson.

Elias, Norbert. 1978b. *The History of Manners. The Civilizing Process: Volume I*. New York, Pantheon Books.

Elias, Norbert. 1982. *Power and Civility. The Civilizing Process: Volume II*. New York, Pantheon Books.

Elias, Norbert. 1987a. 'The Retreat of Sociologists into the Present.' *Theory, Culture & Society 4*, 2–3 (213–22).

Elias, Norbert. 1987b. *Involvement and Detachment*. Oxford, Basil Blackwell.

Elias, Norbert. 1992a. *The Symbol Theory* (edited with an introduction by Richard Kilminster). London, Sage Publications.

Elias, Norbert. 1992b. *Time: An Essay*. Oxford, Basil Blackwell.

Ellis, J., Fields, B. D. & Schramm, D. N. 1996. 'Geological Isotope Anomalies as Signatures of Nearby Supernovae.' *Astrophysical Journal 470* (1227–36).

Emmer, P. C. 2003. 'The myth of early globalization: the Atlantic economy, 1500–1800.' *European Review 11*, 1 (37–47).
'Energy and Power.' *Scientific American Special Issue 225*, 3 (September 1971).
Fagan, Brian. 1999. *Floods, Famines, and Emperors: El Niño and the Fate of Civilizations.* New York, Basic Books.
Fagan, Brian. 2000. *The Little Ice Age: How Climate Made History, 1300–1850.* New York, Basic Books.
Fagan, Brian. 2004. *The Long Summer: How Climate Changed Civilization.* New York, Basic Books.
Fagan, Brian. 2008. *The Great Warming: Climate Change and the Rise and Fall of Civilizations.* London, Bloomsbury Publishing.
Feng Tian, Toon, Owen B., Pavlov, Alexander A. & De Sterck, H. 2005. 'A Hydrogen-Rich Early Earth Atmosphere.' *Science 308*, issue 5724 (1014–17).
Fiedel, Stuart J. 1992. *Prehistory of the Americas, second edition.* Cambridge, Cambridge University Press (1987).
Fieldhouse, D. K. 1973. *Economics and Empire, 1830–1914.* London, Weidenfeld & Nicolson.
Fields, Brian. 2007. *When Stars Attack! Live Undersea Radioactivities as Signatures of Nearby Supernova Explosions.* Geological Society of America Denver Annual Meeting (28–31 October 2007), Paper No. 218-10.
Fields, Brian D. & Ellis, John. 1999. 'On deep-ocean ^{60}Fe as a fossil of a near-earth supernova.' *New Astronomy 4*, 6 (419–30).
'50 years in space: My favourite photo.' *New Scientist*, issue 2620, 8 September 2007 (40).
Firestone, R. B., West, A., Kennett, J. P. et al. 2007. 'Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling.' *Proceedings of the National Academy of Sciences 104*, 41 (16016–21).
Fitzgerald, Michael. 2004. *Autism and creativity: is there a link between autism in men and exceptional ability?* Hove, Brunner-Routledge.
Fladmark, Knut R. 1979. 'Routes: Alternative Migration Corridors for Early Man in North America.' *American Antiquity 44*, 1 (55–69).
Flynn, Dennis O. & Giráldez, Arturo. 1995. 'Born with a "Silver Spoon": The Origin of World Trade in 1571.' *Journal of World History 6*, 2 (201–22).
Flynn, Dennis O. & Giráldez, Arturo. 2002. 'Cycles of Silver: Global Economic Unity through the Mid-Eighteenth Century.' *Journal of World History 13*, 2 (391–428).
Flynn, Dennis O. & Giráldez, Arturo. 2008. 'Born Again: Globalization's Sixteenth Century Origins (Asian/Global Versus European Dynamics).' *Pacific Economic Review 13*, 3 (359–87).
Fox, Douglas. 2007. 'Life but not as we know it.' *New Scientist* issue 2607, 5–15 June (35–9).
Fox, Douglas. 2009. 'Dawn of the animals.' *New Scientist* issue 2716, 11 July (39–41).
Fox, Ronald F. 1988. *Energy and the Evolution of Life.* New York, W.H. Freeman & Co.

Gamble, Clive. 1995. *Timewalkers: The Prehistory of Global Colonization*. Harmondsworth, Penguin Books (1993).

Garraty, John A. & Gay, Peter (eds.). 1972. *The Columbia History of The World*. New York, Harper & Row Publishers.

Geel, B. van, Bokovenko, N. A., Burova, N. D. et al. 2004. 'Climate change and the expansion of the Scythian culture after 850 BC: a hypothesis.' *Journal of Archaeological Science 31* (1735–41).

Gehrels, Tom. 2007. *Survival through Evolution: from Multiverse to Modern Society*. Charleston, S.C., BookSurge Publishing.

Gehrels, Tom. 2009. *The Cosmological Foundation of Our World, seen in a Revised History of our Universe*. University of Arizona at Tucson. www.lpl.arizona.edu/~tgehrels/Foundation2.pdf.

Gell-Mann, Murray. 1994. *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. New York, W.H. Freeman & Co.

Genet, Cheryl, Genet, Russell, Swimme, Brian, Palmer, Linda & Gibler, Linda. 2009. *The Evolutionary Epic: Science's story and humanity's response*. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press.

Genet, Russell Merle. 2007. *Humanity: The Chimpanzees Who Would be Ants*. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press.

Getman, Konstantin V., Feigelson, Eric D., Luhman, Kevin L., Sicilia-Aguilar, Aurora, Wang, Junfeng & Garmire, Gordon P. 2009. 'Protoplanetary Disk Evolution Around the Triggered Star-Forming Region Cepheus B.' *The Astrophysical Journal 699* (1454–72).

Glasby, Geoffrey P. 2006. 'Abiotic Origin of Hydrocarbons: An Historical Overview.' *Resource Geology 56*, 1 (85–98).

Gleick, James. 1988. *Chaos: Making a New Science*. Harmondsworth, Penguin Books (1987).

Goldberg, Vicky. 1991. *The Power of Photography: How photographs changed our lives*. New York, Abbeville Publishing Group.

Gonzalez, Guillermo & Richards, Jay Wesley. 2004. *The Privileged Planet: How our place in the cosmos is designed for discovery*. Washington, D.C., Regnery Publishing, Inc.

Goudsblom, Johan. 1990. 'The Impact of the Domestication of Fire Upon the Balance of Power Between Human Groups and Other Animals.' *Focaal 13* (55–65).

Goudsblom, Johan. 1992. *Fire and Civilization*. London, Allen Lane.

Goudsblom, Johan, Jones, Eric & Mennell, Stephen. 1996. *The Course of Human History: Economic Growth, Social Process, and Civilization*. New York, Armond & London, M.E. Sharpe.

Gould, James L & Keeton, William T. 1996. *Biological Science (Sixth Edition)*. New York & London: W.W. Norton & Co.

Gould, Stephen J. & Eldredge, N. 1977. 'Punctuated Equilibria: The tempo and mode of evolution reconsidered.' *Paleobiology 7* (115–51).

Gould, Stephen J. & Eldredge, N. 1989. *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*. New York & London, W.W. Norton & Co.

Gould, Stephen J. & Eldredge, N. 1993. 'Punctuated Equilibrium Comes of Age.' *Nature* *366* (223–7).

Graedel, T. E. & Crutzen, Paul J. 1993. *Atmospheric Change: An Earth System Perspective*. New York, W.H. Freeman & Co.

Gruhn, Ruth. 1988. 'Linguistic Evidence in Support of the Coastal Route of Earliest Entry into the New World.' *Man* (New Series) *23* (77–100).

Gunnerson, Charles G. 1973. 'Debris Accumulation in Ancient and Modern Cities.' *Journal of the Environmental Engineering Division* 99, 3, May/June (229–43).

Hacker, Jörg & Carniel, Elisabeth. 2001. 'Ecological fitness, genomic islands and bacterial pathogenicity: A Darwinian view of the evolution of microbes.' *EMBO Reports* 2, no.5 (376–81).

Hamilton, Garry 2008. 'Welcome to the Virosphere.' *New Scientist* issue 2671, 30 August (38–41).

Hammen, T. van der & Geel, B. van. 2008. 'Charcoal in soils of the Allerød-Younger Dryas transition were the result of natural fires and not necessarily the effect of an extra-terrestrial impact.' *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* *87*, 4 (359–61).

Hammer, F., Puech, M., Chemin, L., Flores, H. & Lehnert, M. D. 2007. 'The Milky Way, an Exceptionally Quiet Galaxy: Implications for the Formation of Spiral Galaxies.' *The Astrophysical Journal 662*, 1 (322–34).

Harris, Marvin. 1975. *Culture, People, Nature: An Introduction to General Anthropology*. New York, Harper & Row.

Harris, Marvin. 1980. *Cultural Materialism: The Struggle for a Science of Culture*. New York, Vintage Books.

Harris, Marvin. 1997. *Culture, People, Nature: An Introduction to General Anthropology*. New York, Longman.

Harris, David R. (ed.). 1990. *Settling Down and Breaking Ground: Rethinking the Neolithic Revolution*. Amsterdam, Stichting Nederlands Museum voor Anthropologie en Praehistorie, Twaalfde Kroon-Voordracht.

Harris, David R. (ed.). 1996. *The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia*. London, UCL Press.

Harris, D. R. & Hillman, G. C. (eds.). 1989. *Foraging and farming: the evolution of plant exploitation*. London, Allen & Unwin.

Hecht, Jeff. 2007. 'Prehistoric mammals: Big, bad and furry.' *New Scientist* issue 2589, 3 February (32–5).

Hegel, Georg Wilhelm Friedrich. 2000. *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*. Hamburg, Felix Meiner Verlag (1817).

Heiser, Charles B., Jr. 1990. *Seed to Civilization: The Story of Food*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.

Helferich, Gerard. 2004. *Humboldt's Cosmos: Alexander von Humboldt and the Latin American Journey That Changed the Way We See the World*. New York, Gotham Books.

Hershkovitz, I., Donoghue, Helen D., Minnikin, David E. et al. 2008. 'Detection and Molecular Characterization of 9000-Year-Old *Mycobacterium tuberculosis* from a

Neolithic settlement in the Eastern Mediterranean.' *PLoS ONE 3*, 10, e3426, 15 October, doi:10.1371/journal.pone.0003426.

Hillman, G., Hedges, Robert, Moore, Andrew, Colledge, Susan & Pettitt, Paul. 2001. 'New evidence of Lateglacial cereal cultivation at Abu Hureyra on the Euphrates.' *The Holocene 11*, 4 (383–93).

Hobsbawm, E. J. 1968. *Industry and Empire*. Harmondsworth, Penguin.

Holmes, Bob. 2008. 'Beastly Tales.' *New Scientist* issue 2639, 19 January (30–3).

Hoyle, Fred & Wickramasinghe, Chandra. 1996. *Our Place in the Cosmos: The Unfinished Revolution*. London, Phoenix (1993).

Hubbert, M. King. 1956. *Nuclear Energy and the Fossil Fuels*. Houston, Tex., Shell Development Company, Publication No. 95.

Hubbert, M. King. 1971. 'The Energy Resources of the Earth.' *Scientific American 225*, 3, September (60–84).

Huizinga, Johan. 1995. *De taak der cultuurgeschiedenis. Samengesteld, verzorgd en van een nawoord voorzien door W.E. Krul.* Groningen, Historische Uitgeverij.

Humboldt, Alexander von. 1845. *Kosmos: Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. Stuttgart and Tübingen, J. G. Cotta'scher Verlag (1845–62).

Humboldt, Alexander von 1995. *Personal Narrative of a Journey to the Equinoctial Regions of the New Continent* (Abridged and Translated with an Introduction by Jason Wilson and a Historical Introduction by Malcolm Nicolson). London, Penguin Books (1814–25).

Humboldt, Alexander von. 1997. *Cosmos, Volume 1 (Foundations of Natural History)*. Baltimore, Johns Hopkins University Press (1845).

Hume, David. 1757. *The Natural History of Religion*. London, A. and H. Bradlaugh Bonner.

Hurwitz, Ellen & Ostrowski, Donald. 1983. 'The Many Varieties of Historical Writing: Caterpillars and Butterflies Reexamined.' *Harvard Ukrainian Studies* Vol. 7 (296–308).

International Energy Agency. 2007. *Key World Energy Statistics 2007*. Paris, International Energy Agency.

Jantsch, Erich. 1983. *The Self-organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*. Oxford & New York, Pergamon Press (1980).

Jenkins, Elizabeth B. 1997. *Initiation: A Woman's Spiritual Adventure in the Heart of the Andes*. E. Rutherford, N.J., Putnam Pub. Group.

Jones, Dan. 2007. 'Going global: How humans conquered the world.' *New Scientist* issue 2627, 27 October (36–41).

Joyce, Gerald F. 2002. 'The antiquity of RNA-based evolution.' *Nature 418* (214–21).

Kant, Immanuel. 1755. *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie Des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes, nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt*. Königsberg: Petersen (anonymously published).

Kant, Immanuel. 1963. *On History* (edited with an Introduction by Lewis White Beck). Indianapolis: Bobbs-Merrill Company, Inc. (Original title: *Idee zu einer allgemeinen Geschichte in weltbürgerlicher Absicht*, 1784).

Kasting, James F., Whitmire, Daniel P. & Reynolds, Ray T. 1993. 'Habitable Zones around Main Sequence Stars.' *Icarus 101* (108–28).

Kauffman, Stuart A. 1993. *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. New York & Oxford, Oxford University Press.

Kauffman, Stuart A. 1995. *At Home in the Universe: The Search for Laws of Complexity*. London, Viking / The Penguin Press.

Kennett, Douglas J. & Kennett, James P. 2006. 'Early State Formation in Southern Mesopotamia, Sea Levels, Shorelines, and Climate Change.' *The Journal of Island and Coastal Archaeology 1*, 1 (67–99).

Kennett, D. J., Kennett, J. P., West, A., et al. 2009. 'Nanodiamonds in the Younger Dryas Boundary Sediment Layer.' *Science 323*, no. 5910, 2 January (94).

Kitson Clark, G. 1967. *The Critical Historian*. New York, Basic Books.

Knie, K., Korschinek, G., Faestermann, T., Wallner, C., Scholten, J. & Hillebrandt, W. 1999. 'Indication for Supernova Produced ^{60}Fe Activity on Earth.' *Physical Review Letters 83*, 1 (18–21).

Knie, K., Korschinek, G., Faestermann, T., Dorfi, E. A., Rugel, G. & Wallner, A. 2004. '^{60}Fe Anomaly in a Deep-Sea Manganese Crust and Implications for a Nearby Supernova Source.' *Physical Review Letters 93*, 17 (171103-1–171103-4).

Koonin, Eugene V. & Martin, William. 2005. 'On the origin of genomes and cells within inorganic compounds.' *Trends in Genetics 21*, 2 (647–54).

Kortlandt, Adriaan. 1972. *New Perspectives on Ape and Human Evolution*. Amsterdam, Stichting voor Psychobiologie.

Kortlandt, Adriaan. 1980. 'How might early hominids have defended themselves against large predators and food competitors?' *Journal of Human Evolution 9*, 2 (79–112).

Kortlandt, Adriaan vs. Coppens, Yves. 1994. 'Rift over Origins.' *Scientific American 271*, 4 October (5).

Koshland, Daniel E., Jr. 1980. *Bacterial chemotaxis as a model behavioral system*. New York, Raven Press.

Kuhn, Thomas S. 1970. *The Structure of Scientific Revolutions. Second Edition, Enlarged*. Chicago, University of Chicago Press (1962).

Kuijt, Ian & Finlayson, Bill. 2009. 'Evidence for food storage and predomestication granaries 11,000 years ago in the Jordan Valley.' *Proceedings of the National Academy of Science 106*, 27 (10966–70).

Kutter, G. Siegfried. 1987. *The Universe and Life: Origins and Evolution*. Boston, Jones & Bartlett Publishers.

Lalueza-Fox, Carles, Römpler, Holger, Caramelli, David et al. 2007. 'A Melanocortin 1 Receptor Allele Suggests Varying Pigmentation Among Neanderthals.' *Science 318*, no. 5855, 30 November (1453–5).

Landes, D. S. 1969. *The Unbound Prometheus: Technological change and industrial development in Western Europe from 1730 to the present*. Cambridge, Cambridge University Press.

Landes, D. S. 1998. *The Wealth and Poverty of Nations: Why Some Are So Rich and Some So Poor*. New York, W.W. Norton & Co.

Lane, Nick. 2009. 'Why sex is worth losing your head for.' *New Scientist* issue 2712, 13 June (40–3).

Lange, Frits de. 1997. *Gevoel voor verhoudingen: God, evolutie en ethiek.* Kampen, Uitgeverij Kok.

Lapperre, P. E. 1997. *Sociologie en Techniek: Lange termijn wisselwerkingen tussen technologie en maatschappij [Sociology and Technology: Long-term interactions between technology and society].* Eindhoven, the Netherlands, Eindhoven University of Technology, Department of Technology Management.

Leakey, Richard E. & Lewin, Roger. 1995. *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind.* New York, Doubleday.

Ledeboer, A. M., Kroll, A. J. M., Dons, J. J. M. et al. 1976. 'On the isolation of TI-plasmid from Agrobacterium tumefaciens.' *Nucleic Acid Research* 3, 2 (449–63).

Lehninger, Albert L. 1975. *Biochemistry: The Molecular Basis of Cell Structure and Function, Second Edition.* New York, Worth Publishers.

Lerner, Eric. 2004. 'Bucking the Big Bang.' *New Scientist* issue 2448, 22 May (20).

Lesch, Harald & Zaun, Harald. 2008. *Die kürzeste Geschichte allen Lebens: Eine Reportage über 13,7 Milliarden Jahre Werden und Vergehen.* München, Piper Verlag.

Levy, David H. (ed.). 2000. *The Scientific American Book of the Cosmos.* New York, St. Martin Press & London, MacMillan.

Lewin, Roger. 1993. *Complexity: Life at the edge of chaos.* London, J.M. Dent Ltd.

Lewis, Henry T. 1972. 'The Role of Fire in the Domestication of Plants and Animals in Southwest Asia: A Hypothesis.' *Man* 7, 2 (195–222).

'Life in the Universe.' *Scientific American 271*, 4 (October 1994). Published in 1995 as *Life in The Universe: Scientific American Special Issue.* New York, W.H. Freeman & Co.

Lineweaver, Charles H., Fenner, Yeshe & Gibson, Brad K. 2004. 'The Galactic Habitable Zone and the Age Distribution of Complex Life in the Milky Way.' *Science 303*, 2, January (59–62).

Livi-Bacci, Massimo. 1992. *A Concise History of World Population.* Cambridge, Mass. & Oxford, Blackwell Publishers (1989).

Lloyd, Christopher. 2008. *What on Earth Happened? The Complete Story of the Planet, Life and People from the Big Bang to the Present Day.* London, Bloomsbury.

Lovelock, James E. 1987. *Gaia: A New Look at Life on Earth.* Oxford & New York, Oxford University Press.

Lovelock, James E. 2000. *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine.* Oxford & New York, Oxford University Press (1991).

Lovelock, James E. 2006. *The Revenge of Gaia: Earth's Climate Crisis and the Fate of Humanity.* New York, Basic Books.

Loy, T., Spriggs M. & Wickler, S. 1992. 'Direct Evidence for Human Use of Plants 28,000 years ago: Starch Residues on Stone Artifacts from the Northern Solomons.' *Antiquity 66* (898–912).

Lunine, Jonathan I. 1999. *Earth: Evolution of a Habitable World.* Cambridge, Cambridge University Press.

MacKay, David J. C. 2008. *Sustainable Energy – without the hot air.* Cambridge, UIT Cambridge. www.withouthotair.com.

MacLeish, Archibald. 1968. 'A Reflection: Riders on Earth Together, Brothers in Eternal Cold.' *New York Times*, 25 December (1).

Magistretti, Pierre J., Pellerin, Luc & Martin, Jean-Luc 2000. *Brain Energy Metabolism: An Integrated Cellular Perspective.* American College of Neuropsychopharmacology. www.acnp.org/G4/GN401000064/.

'Magnificent Cosmos: Exploring the Universe, from our solar neighborhood to beyond distant galaxies.' *Scientific American 9*, 1 (Spring 1998).

Makarieva, A. M. & Gorshkov, V. G. 2006. 'Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land.' *Hydrology and Earth System Sciences Discussion 3* (2621–73).

Makarieva, Anastassia M., Gorshkov, Victor G., Li, Bai-Lian, Chown, Steven L., Reich, Peter B. & Gavrilov, Valery M. 2008. 'Mean mass-specific metabolic rates are strikingly similar across life's major domains: Evidence for life's metabolic optimum.' *Proceedings of the National Academy of Science 105*, 44 (16994–9).

Malthus, T. R. 1992. *An Essay on the Principle of Population (Cambridge Texts in the History of Political Thought).* Cambridge, Cambridge University Press (1798).

Mann, Michael. 1987. *The Sources of Social Power. Volume I: A history of power from the beginning to A.D. 1760.* Cambridge, Cambridge University Press (1986).

Mann, Michael. 1993. *The Sources of Social Power. Volume II: The rise of classes and nation-states, 1760–1914.* Cambridge, Cambridge University Press.

Margulis, Lynn & Olendzendski, Lorraine. 1992. *Environmental Evolution: Effects of the Origin and Evolution of Life on Planet Earth.* Cambridge, Mass., MIT Press.

Margulis, Lynn & Sagan, Dorion. 1995. *What is Life?* London, Weidenfeld & Nicolson.

Margulis, Lynn & Sagan, Dorion. 1997. *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution.* Berkeley, University of California Press.

Markow, Alexander V. 2009. 'Alpha diversity of Phanerozoic marine communities positively correlates with longevity of genera.' *Paleobiology 35*, 2 (231–50).

Markow, Alexander V. & Korotayev, Andrey V. 2007. 'Phanerozoic marine biodiversity follows a hyperbolic trend.' *Palaeoworld 16* (311–18).

Marshall, James. 1998. *Goldilocks and the Three Bears: Retold and Illustrated by James Marshall.* New York, Puffin Books.

May, Brian, Moore, Patrick & Lintott, Chris. 2006. *Bang! The Complete History of the Universe.* Bristol, Carlton Books.

McBrearty, Sally & Brooks, Alison S. 2000. 'The revolution that wasn't: a new interpretation of the origin of modern human behavior.' *Journal of Human Evolution 39* (453–563).

McKenna, Phil. 2008. 'Plumbing the oceans could bring limitless clean energy.' *New Scientist* issue 2683, 19 November (28–9).

McNeill, J. R. 2000. *Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth Century World.* London, Penguin Books.

McNeill, J. R. & McNeill, W. H. 2003. *The Human Web: A Bird's-Eye View of World History*. New York, W.W. Norton & Co.

McNeill, William H. 1963. *The Rise of the West: A History of the Human Community*. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1976. *Plagues and Peoples*. Garden City, New York, Anchor Press / Doubleday.

McNeill, William H. 1984. *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force and Society since AD 1000*. Chicago, University of Chicago Press (1982).

McNeill, William H. 1986a. 'Organizing Concepts for World History.' *Review: Fernand Braudel Center 10*, 2 (211–29).

McNeill, William H. 1986b. *Mythistory and Other Essays*. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1991. *The Rise of the West: A History of the Human Community; with a retrospective essay*. Chicago & London, University of Chicago Press.

McNeill, William H. 1992. *The Global Condition: Conquerors, Catastrophes and Community*. Princeton, Princeton University Press.

McNeill, William H. 1995. *Keeping Together in Time: Dance and Drill in Human History*. Cambridge, Harvard University Press.

McNeill, William H. 1998a. 'History and the Scientific Worldview.' *History & Theory 37*, 1 (1–13).

McNeill, William H. 1998b. *The disruption of traditional forms of nurture: Essay and discussion*. Amsterdam, Het Spinhuis.

McNeill, William H. 2001. 'Passing Strange: The Convergence of Evolutionary Science with Scientific History.' *History & Theory 40*, 1 (1–15).

McNeill, William H. 2005. *The Pursuit of Truth: A Historian's Memoir*. Lexington, Ky., The University of Kentucky Press.

McSween, Harry Y. Jr. 1997. *Fanfare for Earth: The Origin of Our Planet and Life*. New York, St. Martin's Press.

Meadows, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, Jørgen & Behrens III, William W. 1972. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome Project on the Predicament of Mankind*. New York, Potomac Associates (authorized reprint from Universe Books).

Meadows, Dennis L. 1972. *Rapport van de Club van Rome: De grenzen aan de groei*. Utrecht/Antwerpen, Het Spectrum, Aula 500.

Mears, John A. 1986. 'Evolutionary Process: An organizing principle for general education.' *The Journal of General Education 37*, 4 (315–25).

Mears, John A. 2001. 'Agricultural Origins in Global Perspective.' In: Adas, M. (ed.) *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*. Philadelphia, Temple University Press (36–70).

Mears, John A. 2009. 'Implications of the Evolutionary Epic for the Study of Human History.' In: Genet, Cheryl, Genet, Russell, Swimme, Brian, Palmer, Linda & Gibler, Linda. (eds.) *The Evolutionary Epic: Science's story and humanity's response*. Santa Margarita, Ca., Collins Foundation Press (135–46).

Mellars, Paul. 2006. 'Why did modern human populations disperse from Africa ca. 60,000 years ago? A new model.' *Proceedings of the National Academy of Sciences 103*, 25, 20 June (9381–6).

Menzies, Gavin. 2002. *1421: The Year China Discovered America*. London, Bantam Press.

Mishurov, Yu. N., Zenina, I. A., Dambis, A. K., Mel'Nik, A. M. & Rastorguev, A. S. 1997. 'Is the Sun located near the corotation circle?' *Astronomy and Astrophysics 323* (775–80).

Monod, Jacques. 1971. *Chance and Necessity*. New York, Alfred Knopf.

Moore, R. I. 1997. 'World History.' In: Bentley, Michael (ed.) *Companion to Historiography*. London, Routledge (941–59).

Morin, Edgar & Kern, Anne Brigitte. 1993. *Terre-Patrie*. Paris, Editions du Seuil.

Morowitz, Harold J. 2002. *The Emergence of Everything: How the World Became Complex*. Oxford, Oxford University Press.

Morrison, Philip, Morrison, Phylis & The Office of Charles and Ray Eames. 1994. *Powers of Ten: About the Relative Size of Things in the Universe*. New York, W.H. Freeman & Co., Scientific American Library.

Mueller, Ulrich G., Gerardo, Nicole M., Aanen, Duur K., Six, Diana L. & Schultz, Ted R. 2005. 'The Evolution of Agriculture in Insects.' *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 36* (563–95).

Muir, Hazel. 2005. 'Milky Way: There is no place like home.' *New Scientist* issue 2499, 14 May (30).

Muir, Hazel. 2006. 'Half-life heresy: Accelerating radioactive decay.' *New Scientist* issue 2574, 21 October (36–9).

Mumford, Lewis. 1961. *The City in History: Its Origins, Its Transformations, and Its Prospects*. New York, Harcourt, Brace, and World Inc.

'Nation: MEN OF THE YEAR.' *Time Magazine*, 3 January 1969 (9–12).

National Geographic. 2009. *Energy For Tomorrow: Repowering the Planet*. Special Spring Issue.

Nazaretyan, Akop P. 2004. *Civilization Crises within the context of Big (Universal) History: Self-Organization, Psychology, and Futorology* (in Russian). Moscow, Mir-Publishers.

Neimark, Jill. 2007. 'Autism: It's Not Just in the Head.' *Discover Magazine*, April 2007 (p. 33ff.). http://discovermagazine.com/2007/apr/autism-it2019s-not-just-in-the-head.

Neprimerov, N. N. 1992. *Mirozdanie [The Universe]*. Kazan, Kazan State University.

Newton, Sir Isaac. 1979. *Opticks*. New York, Dover Publications (1730).

Niele, Frank. 2005. *Energy: Engine of Evolution*. Amsterdam, Elsevier, Shell Global Solutions.

Nottale, Laurent, Chaline, Jean & Grou, Pierre. 2000. *Les arbres de l'evolution: Universe, vie, sociétés*. Paris, Hachette.

O'Brien, Patrick. 2008. *Global History for Global Citizenship*. London School of Economics: Global History and Maritime Asia Working and Discussion Paper Series, Working Paper No. 7.

O'Donoghue, James. 2007a. 'Ediacarans: the "long fuse" of the Cambrian explosion?' *New Scientist* issue 2599, 14 April (34–8).

O'Donoghue, James. 2007b. 'A forest is born.' *New Scientist* issue 2631, 24 November (38–41).

Odling-Smee, F. John, Laland, Kevin N. & Feldman, Marcus W. 2003. *Niche construction: the neglected process in evolution.* Princeton, Princeton University Press.

Odum, Howard T. 1971. *Environment, Power and Society.* New York, John Wiley & Sons.

Ofek, E. O., Cameron, P. B., Kasliwal, M. M. et al. 2007. 'SN 2006gy: An Extremely Luminous Supernova in the Galaxy NGC 1260.' *The Astrophysical Journal 659,* 1, Part 2, L13–L16.

Osborne, Roger & Tarling, Don. 1995. *The Viking Historical Atlas of the Earth.* Harmondsworth, Penguin Books.

Ostrowski, Donald. 1989. 'The Historian and the Virtual Past.' *The Historian* Vol. *LI,* No.2 (201–20).

Ostrowski, Donald. 2003. *Three criteria of historical study.* http://hudce7.harvard.edu/~ostrowski/dawnciv/history.pdf.

Pannekoek, Anton. 1909. *Darwinisme en marxisme.* Beverwijk 1980 Brochure 1, Herdrukken 1/3, Groep Radenkommunisme.

Pannekoek, Anton. 1953. *Anthropogenesis: A Study of the Origins of Man.* Amsterdam, North-Holland Publishing Co.

Pavlov, Alexander A., Toon, Owen B., Pavlov, Anatoli K., Bally, John & Pollard, David. 2005. 'Passing through a giant molecular cloud: "Snowball" glaciations produced by interstellar dust.' *Geophysical Research Letters 32,* 3 (3705).

Pearce, Fred. 2009. 'Ice on Fire.' *New Scientist* issue 2714, 24 June (30–3).

Perkins, Sid. 2009. 'The iron record of Earth's oxygen: Scientists are decoding the geological secrets of banded iron formations.' *Science News 175,* 13 (24–8).

Peterson, Ivars. 1995. *Newton's Clock. Chaos in the Solar System.* New York, W.H. Freeman & Co. (1993).

Pleij, C. W. A. 1995. *Een wandeling in de 'RNA-Wereld.' [A Walk through RNA World].* Oratio, Leiden, Rijksuniversiteit Leiden.

Pollard, Sidney. 1992. *Peaceful Conquest: The Industrialization of Europe 1760–1970.* Oxford & New York, Oxford University Press (1981).

Pomeranz, Kenneth. 2000. *The Great Divergence: Europe, China, and the Making of the Modern World Economy.* Princeton, Princeton University Press.

Ponting, Clive. 1992. *A Green History of the World.* Harmondsworth, Penguin Books.

Poole, Robert. 2008. *Earthrise: How Man First Saw the Earth.* New Haven & London, Yale University Press.

Potter, Christopher Potter. 2009. *You Are Here: A Portable History of the Universe.* New York, HarperCollins

Potts, Rick. 1996. *Humanity's Descent: The consequences of ecological instability.* New York, William Morrow & Co.

Priem, Harry N. A. 1993. *Aarde en Leven: Het Leven in relatie tot zijn planetaire omgeving – Earth and Life: Life in Relation to its Planetary Environment.* Dordrecht, Boston & London, Wolters Kluwer Academic Publishers.

Priem, Harry N. A. 1997. *Aarde: Een planetaire visie*. Assen, Van Gorcum.

Prigogine, Ilya & Stengers, Isabelle. 1984. *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. London, Heinemann.

Primack, Joel R. & Abrams, Nancy Ellen. 2006. *The View from the Center of the Universe: Discovering Our Extraordinary Place in the Cosmos*. New York, Riverhead Books.

Pringle, Heather. 2007a. 'Firestorm from space wiped out prehistoric Americans.' *New Scientist* issue 2605, 8–9 May (26).

Pringle, Heather. 2007b. 'Follow that kelp.' *New Scientist* issue 2616, 11 August (40–3).

Pyne, Stephen J. 1982. *Fire in America: A Cultural History of Wildland and Rural Fire*. Princeton, Princeton University Press.

Pyne, Stephen J. 2001. *Fire: A Brief History*. London, The British Museum Press.

Ranke, Leopold von. 1888. 'Vorwort.' *Weltgeschichte, Neunter Theil, zweite Abtheilung*. Leipzig, Verlag von Dunder & Humblot.

Rathje, William & Murphy, Cullen. 1992. *Rubbish! The Archaeology of Garbage: What our garbage tells us about ourselves*. New York, HarperCollins Publishers.

Raup, David M. 1993. *Extinction: Bad Genes or Bad Luck?* Oxford & New York, Oxford University Press.

Ravitch, Diane & Schlesinger Jr., Arthur. 1996. 'The New, Improved History Standards.' *The Wall Street Journal*, 3 April (A14).

Raymond, Sean N., Mandell, Avi M. & Sigurdsson, Steinn. 2006. 'Exotic Earths: Forming Habitable Worlds with Giant Planet Migration.' *Science 313* (1413–16).

Redman, Ch. L. 1978. *The Rise of Civilization: From Early Farmers to Urban Society in the Ancient Near East*. San Francisco, W.H. Freeman & Co.

Reed, David L., Smith, Vincent S., Hammond, Shaless L., Rogers, Alan R. & Clayton, Dale H. 2004. 'Genetic Analysis of Lice Supports Direct Contact between Modern and Archaic Humans.' *Public Library of Science Biology* 2,11, e340.

Reed, Charles A. (ed.). 1977. *Origins of Agriculture*. Den Haag & Paris, Mouton Publishers.

Rees, Martin. 1997. *Before the Beginning: Our Universe and Others*. London, Simon & Schuster.

Reeves, Hubert. 1991. *Hour of Our Delight: Cosmic Evolution, Order, and Complexity*. New York, W.H. Freeman & Co.

Reeves, Hubert, Rosnay, Joël de, Coppens, Yves & Simonnet, Dominique. 1996. *La Plus Belle Histoire du Monde: Les secrets de nos origins*. Paris, Editions du Seuil.

Reeves, Hubert, Rosnay, Joël de, Coppens, Yves & Simonnet, Dominique. 1998. *Origins: Cosmos, Earth and Mankind*. New York, Arcade Publishing.

Reich, Eugenie Samuel. 2005. 'Interstellar gas cloud linked to Snowball Earth.' *New Scientist* issue 2487, 19 February (9).

Reijnders, Lucas. 2006a. 'Is increased energy utilization linked to greater cultural complexity? Energy utilization by Australian Aboriginals and traditional swidden agriculturalists.' *Environmental Sciences* 3, 3 (207–20).

Reijnders, Lucas. 2006b. *Energie: Van brandhout tot zonnecel*. Amsterdam, Uitgeverij Van Gennep.

Renfrew, Colin & Bahn, Paul. 1991. *Archaeology: Theory, Methods and Practice*. London, Thames & Hudson.

Roberts, John M. 1976. *History of the World*. New York, Alfred M. Knopf.

Roberts, Neil. 1998. *The Holocene: An Environmental History (Second Edition)*. Oxford, Basil Blackwell.

Roebroeks, Wil (ed.). 2007. *Guts and Brains: An Integrative Approach to the Hominin Record*. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Romein, Jan Marius. 1937. 'De dialectiek van de vooruitgang. Bijdrage tot het ontwikkelingsbegrip in de geschiedenis' In: *Het onvoltooid verleden: .kultuurhistorische studies*. Amsterdam, Querido (9–64).

Rutgers, Michiel, Gulden, Hanneke M. L. van der & Dam, Karel van. 1989. 'Thermodynamical efficiency of bacterial growth calculated from growth yield of *Pseudomonas oxalaticus* OX1 in the chemostat.' *Biochim. Biophys. Acta 973* (302–7).

Sanderson, Stephen K. 1995. *Social Transformations: A General Theory of Historical Development*. Oxford, Basil Blackwell.

Schumacher, E. F. 1989. *Small Is Beautiful: Economics as if People Mattered*. New York, Harper Perennial (1973).

Secord, James A. 2000. *Victorian Sensation: The Extraordinary Publication, Reception, and Secret Authorship of Vestiges of the Natural History of Creation*. Chicago, University of Chicago Press.

Semeniuk, Ivan. 2007. 'Blasts from the past.' *New Scientist* issue 2602, 5–11 May (46–9).

Sharma, Ajay. 2004. 'Origin and Escalation of the Mass-Energy Equation $\Delta E = \Delta mc^2$, *General Science Journal*. www.wbabin.net/ajay/sharma3.pdf.

Sherratt, A. 1981. 'Plough and pastoralism: aspects of the secondary products revolution.' In: Hodder, Ian, Isaac, Glynn & Hammond, Norman (eds.) *Pattern of the Past. Studies in honour of David Clarke*. Cambridge, Cambridge University Press (261–305).

Sherratt, A. 1996. 'Plate tectonics and imaginary prehistories: structure and contingency in agricultural origins.' In: Harris, David R. (ed.) *The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia*. London, UCL Press (130–40).

Sherratt, A. 1997. 'Climatic cycles and behavioural revolutions: the emergence of modern humans and the beginning of farming.' *Antiquity 71*, 272 (271–87).

Shiga, David. 2006. 'Gravity: Were Newton and Einstein wrong?' *New Scientist* issue 2549, 29 April (52).

Shiga, David. 2007. 'Supernova shift may distort dark-energy readings.' *New Scientist* issue 2625, 13 October (14).

Shipp, Thomas. 2007. 'Clash of World Views.' *New Scientist* issue 2608, 16 June (26).

Simmons, I. G. 1994. *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*. Oxford, Basil Blackwell (1989).

Slicher van Bath, Bernard. 1978. *Geschiedenis: theorie en praktijk*. Utrecht/Antwerpen, Het Spectrum.

Smail, Daniel Lord. 2005. 'In the Grip of Sacred History.' *The American Historical Review 110*, 5 (1337–61).

Smail, Daniel Lord. 2007. *On Deep History and the Brain*. Berkeley, University of California Press.

Smil, Vaclav. 1991. *General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization*. New York, John Wiley & Sons.

Smil, Vaclav. 1994. *Energy in World History*. Boulder, Co., Westview Press.

Smil, Vaclav. 1999. *Energies: An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization*. Cambridge, Mass., The MIT Press.

Smil, Vaclav. 2002. *The Earth's Biosphere: Evolution, Dynamics, and Change*. Cambridge, Mass., The MIT Press.

Smil, Vaclav. 2003. *Energy at the Crossroads: Global perspectives and uncertainties*. Cambridge, Mass., The MIT Press.

Smil, Vaclav. 2006. *Energy: A Beginner's Guide*. Oxford, OneWorld Publications.

Smith, Bruce D. 1995. *The Emergence of Agriculture*. New York, W.H. Freeman & Co., Scientific American Library.

Smith, M. Estellie. 2000. *Trade and Trade-offs: Using Resources, Making Choices, and Taking Risks*. Prospect Heights, Ill., Waveland Press.

Smith, Virginia. 2007. *Clean: A history of personal hygiene and purity*. Oxford, Oxford University Press.

Smith, Nathan, Li, Weidong, Foley, Ryan J. et al. 2007. 'SN 2006gy: Discovery of the Most Luminous Supernova Ever Recorded, Powered by the Death of an Extremely Massive Star like η Carinae.' *The Astrophysical Journal 666*, 2 (1116–28).

Snow, Philip. 1988. *Star Raft: China's Encounter with Africa*. Ithaca, N.Y., Cornell University Press.

Snow, Charles Percy. 1959. *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. Cambridge, Cambridge University Press

Spier, Fred. 1990. 'Religie in de mensheidsgeschiedenis: Naar een model van de ontwikkeling van religieuze regimes in een lange-termijnperspectief.' (Religion in the History of Humankind: Toward a model of the development of religious regimes in a long-term perspective) *Amsterdams Sociologisch Tijdschrift 16*, 4 (88–122).

Spier, Fred. 1992. 'Een oud probleem: de relaties tussen mensen en het natuurlijk milieu in een lange termijnperspectief.' (An Old Problem: The relations between humans and the natural environment seen from a long-term perspective) *De Gids 150*, 2 (96–108).

Spier, Fred. 1994. *Religious Regimes in Peru: Religion and state development in a long-term perspective and the effects in the Andean village of Zurite*. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 1995. *San Nicolás de Zurite: Religion and Daily Life of an Andean Village in a Changing World*. Amsterdam, VU University Press.

Spier, Fred. 1996. *The Structure of Big History: From the Big Bang until Today*. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 1998. *Big History: Was die Geschichte im Innersten zusammenhält*. Darmstadt, Primus Verlag.

Spier, Fred. 1999a. *Geschiedenis in het Groot: Een alomvattende visie*. Amsterdam, Amsterdam University Press.

Spier, Fred. 1999b. 'СТПУКТУПА БОДЬШОЙ ИСТОПИИ' (The Structure of Big History). *ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И СОВПЕМЕННОСТЬ* (Social Sciences Today) 5. Moscow, Russian Academy of Sciences (152–63).

Spier, Fred. 2002. *The Apollo 8 Earthrise Photo.* Amsterdam, Institute for Interdisciplinary Studies.

Spier, Fred. 2005a. 'How Big History Works: Energy Flows and the Rise and Demise of Complexity.' *Social Evolution & History* 4, 1 (87–135), Moscow, 'Uchitel' Publishing House.

Spier, Fred. 2005b. 'The Small History of the Big History Course at the University of Amsterdam.' *World History Connected* 2, 2. http://worldhistoryconnected.press.uiuc.edu/2.2/spier.html.

Spier, Fred. 2008. 'Big history: The emergence of a novel interdisciplinary approach.' *Interdisciplinary Science Reviews* 33, 2 (141–52).

Stavrianos, Leften S. 1989. *Lifelines from our Past: A new World History.* New York, Pantheon Books.

Stavrianos, Leften S. 1995. *A Global History: From Prehistory to the Present.* Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall (1971).

Stearns, Peter N. 1993. *The Industrial Revolution in World History.* Boulder, Co., Westview Press.

Steinlin, Uli W. 1977. 'Kugelsternhaufen.' *Neue Zürcher Zeitung*, 26 April.

Stern, Fritz (ed.). 1956. *The Varieties of History: From Voltaire to the Present.* Cleveland & New York, Meridian Books.

Stokes Brown, Cynthia. 2007. *Big History: From the Big Bang to the Present.* New York, The New Press.

Strahan, David. 2008. 'The great coal hole.' *New Scientist* issue 2639, 19 January (38–41).

Strangway, David W. 1970. *History of the earth's magnetic field.* New York, McGraw-Hill Book Company.

Stringer, Chris & Gamble, Clive. 1993. *In Search of the Neanderthals.* London, Thames & Hudson.

Stucki, Jörg W. 1980. 'The Optimal Efficiency and the Economic Degrees of Coupling of Oxidative Phosphorylation.' *European Journal of Biochemistry 109*, 1 (269–83).

Swabe, Joanna. 1998. *Animals, Disease and Human Society: Human-animal Relations and the Rise of Veterinary Medicine.* London, Routledge.

Swimme, Brian & Berry, Thomas. 1992. *The Universe Story: From the Primordial Flaring Forth to the Ecozoic Era: A Celebration of the Unfolding of the Cosmos.* San Francisco, HarperCollins Publishers.

Tainter, Joseph A., Allen, T. F. H., Little, Amanda & Hoekstra, Thomas W. 2003. 'Resource Transitions and Energy Gain: Contexts of Organization.' *Conservation Biology* 7, 3 (4). www.consecol.org/vol7/iss3/art4.

Tainter, Joseph A. 1988. *The Collapse of Complex Societies.* Cambridge, Cambridge University Press.

Thomas, Jo. 1996. 'Revised History Standards Defuse Explosive Issues.' *New York Times*, 3 April.

Thorpe, S. K. S., Holder, R. L. & Crompton, R. H. 2007. 'Origin of Human Bipedalism As an Adaptation for Locomotion on Flexible Branches.' *Science 316*, 5829 (1328–31).
Tosh, John. 1992. *The Pursuit of History: Aims, Methods & New Directions in the Study of Modern History, 2nd Edition*. London & New York, Longman.
Trefil, James S. 1989. *Reading the Mind of God: In Search of the Principle of Universality*. New York, Charles Scribner's Sons.
Trefil, James S. 1994. *A Scientist in the City*. New York, Doubleday.
Trefil, James S. 1997. *Are We Unique? A scientist explores the unparalleled intelligence of the human mind*. New York, John Wiley & Sons.
Trefil, James & Hazen, Robert M. 1995. *The Sciences: An Integrated Approach*. New York, John Wiley & Sons.
Trivedi, Bijal. 2007. 'Toxic cocktail.' *New Scientist* issue 2619, 1 September (44–7).
Tsiganis, K., Gomes, R., Morbidelli, A. & Levison, H. F. 2005. 'Origin of the orbital architecture of the giant planets of the Solar System.' *Nature 435*, 26 May (459–61).
Tudge, Colin. 1993. 'Taking the pulse of evolution: Do we owe our existence to short periods of change in the world's climate?' *New Scientist*, issue 1883, 24 July (32–6).
Tudge, Colin. 1996. *The Day Before Yesterday: Five Million Years of Human History*. London, Random House (1995).
Turner, Graham M. 2008. 'A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality.' *Global Environmental Change 18*, 3 (397–411).
Vélez, Antonio. 1998. *Del big bang al Homo sapiens*. Medellín, Colombia, Editorial Universidad de Antioquia.
Vélez, Antonio. 2007. *Homo Sapiens*. Bogotá, Colombia, Villegas Editores S.A.
Verburgh, Kris. 2007. *FANTASTISCH! Over het universum in ons hoofd*. Anterpen, Houtekiet.
Vernadsky, Vladimir I. 1998. *The Biosphere*. New York, Copernicus Springer-Verlag.
Vitousek, Peter M., Mooney, Harold A., Lubchenco, Jane & Melillo, Jerry M. 1997. 'Human Domination of Earth's Ecosystems.' *Science* 25 July (494–9).
Vos, John de. 2004. 'Evolution of man: the adaptative radiation model.' In: Rubio Jara, Susana & Baquedano Pérez, Enrique (eds.) *Miscelanea en homenaje a Emiliano Aguirre, Vol. 3, Paleoantropologia* (406–13).
Vrba, Elizabeth S. 1993. 'Mammal Evolution in the African Neogene and a New Look at the Great American Interchange.' In: Goldblatt, Peter (ed.) *Biological Relationships between Africa and South America*. New Haven & London, Yale University Press (393–432).
Vrba, E. S., Denton, G. H., Partridge T. C. & Burckle, L. H. (eds.). 1995. *Paleoclimate and Evolution, with Emphasis on Human Origins*. New Haven & London, Yale University Press.
Vries, Jan de. 2008. *The Industrious Revolution: Consumer Behavior and the Household Economy, 1650 to the Present*. Cambridge, Cambridge University Press.
Waldrop, M. Mitchell. 1993. *Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos*. London, Viking (1992).

Walker, G. 2003. *Snowball Earth: The Story of the Great Global Catastrophe That Spawned Life as We Know It*. New York, Random House.

Wallerstein, Immanuel M. 1974. *The Modern World-System: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century*. San Diego, Academic Press.

Wallerstein, Immanuel M. 1980. *Modern World System II: Mercantilism and the Consolidation of the European World Economy, 1600–1750*. San Diego, Academic Press.

Wallerstein, Immanuel M. 1983. *Historical Capitalism*. London, Verso.

Wallerstein, Immanuel M. 1989. *The Modern World-System III: The Second Era of Great Expansion of the Capitalist World-Economy, 1730–1840s*. New York, Academic Press.

Walsh, William Henry. 1951. *An Introduction to Philosophy of History*. London, Hutchinson.

Ward, Peter D. & Brownlee, Donald. 2004. *Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe*. New York, Copernicus Books (2000).

Weber, Max. 1927. *General economic history* (translated by Frank H. Knight). London, George Allen & Unwin Ltd.

Weber, Max. 1978. *Economy and Society: An outline of interpretive sociology (two volumes)*. Berkeley, Los Angeles & London, University of California Press.

Weber, Max. 1997. *The Theory of Social and Economic Organization*. New York, The Free Press.

Weinberg, Steven. 1993. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. London, Flamingo (1977).

Wells, H. G. 1930. *The Outline of History: Being a Plain History of Life and Mankind*. New York, Garden City Publishing Company (1920).

Wenke, Robert J. & Olszewski, Deborah I. 2007. *Patterns in Prehistory: Humankind's First Three Million Years (Casebooks in Criticism)*. New York & Oxford, Oxford University Press.

Wesseling, H. L. 1995. *Onder historici: Opstellen over geschiedenis en geschiedschrijving*. Amsterdam, Uitgeverij Bert Bakker.

Westbroek, Peter. 1992. *Life as a Geological Force: Dynamics of the Earth*. New York & London, W.W. Norton & Co.

Westbroek, Peter. 2009. *Terre! Menaces et espoir*. Paris, Editions du Seuil.

Westerhoff, Hans V., Hellingwerf, Klaas J. & Dam, Karel van. 1983. 'Thermodynamic Efficiency of Microbial Growth is Low but Optimal for Maximal Growth Rate.' *Proceedings of the National Academy of Sciences 80*, 1 (305–9).

White, L. A. 1943. 'Energy and the Evolution of Culture.' *American Anthropologist 45* (335–56).

White, L. A. 1959. *The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome*. New York, McGraw-Hill.

White, L. A. 1975. *The Concept of Cultural Systems: A Key to Understanding Tribes and Nations*. New York & London, Columbia University Press.

Whitfield, John. 2004. 'Born in a watery commune.' *Nature 247*, 19 February (674–6).

Wicander, Reed & Monroe, James S. 1993. *Historical Geology: Evolution of the Earth and Life through Time*. Minneapolis/St. Paul, West Publishing Company.

Wiederhielm, Curt A. 1992. 'Impact scenarios.' *Science News 141*, 14, 4 April (211).

Wildeman, Diederick. 2006. *De Wereld in het klein: Globes in Nederland*. Zutphen, De Walburg Pers.

Williams, M. A. J., Dunkerley, D. L., De Deckker, P., Kershaw, A. P. & Stokes, T. 1993. *Quaternary Environments*. London, Edward Arnold.

Wills, Christopher. 1999. *Children of Prometheus: The accelerating pace of human evolution*. New York, Basic Books.

Wolf, Eric R. 1966. *Peasants*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall.

Wolf, Eric R. 1982. *Europe and the People without History*. Berkeley, University of California Press.

Wolpoff, Milford & Caspari, Rachel. 1997. *Race and Human Evolution: A Fatal Attraction*. New York, Simon & Schuster.

Woo, Elaine. 1996. 'Standards for Teaching History Unveiled – Again.' *Los Angeles Times*, 3 April (A-1).

World Commission on Environment and Development. 1987. *Our Common Future*. Oxford / New York (Brundtland report).

Zapata, F. & Roy, R. N. 2004. *Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture* (Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 13). Rome: FAO Land and Water Development Division and the International Atomic Energy Agency. www.fao.org/docrep/007/y5053e/y5053e00.htm#Contents

Zeilinga de Boer, Jelle & Sanders, Donald Theodore. 2002. *Volcanoes in Human History: The Far-Reaching Effects of Major Eruptions*. Princeton & Oxford, Princeton University Press.

Zeilinga de Boer, Jelle & Sanders, Donald Theodore. 2005. *Earthquakes in Human History: The Far-Reaching Effects of Seismic Disruptions*. Princeton & Oxford, Princeton University Press.

المؤلف في سطور

فريد سباير

- محاضر أول للتاريخ الكبير في جامعة أمستردام، ويدرّس التاريخ الكبير أيضًا في جامعة إندهوفن للتقنية.

- مؤلف كتب «النظم الدينية في بيرو» (1994)، و«سان نيكولاس دو زوريت»، و«بنية التاريخ الكبير: من الانفجار الكبير حتى الآن» (1996).

المترجم في سطور

عزت عامر

- حاصل على بكالوريوس هندسة طيران جامعة القاهرة 1969.

- مدير مكتب مجلة «العربي» الكويتية في القاهرة.

- محرر علمي ومترجم عن الإنجليزية والفرنسية، ينشر في العديد من المجلات والصحف العربية.

- عمل محررًا لصفحة العلم والتكنولوجيا في صحيفة «العالم اليوم» المصرية، ومسؤولًا عن صفحة يومية وصفحة طبية أسبوعية في صحيفة «الاقتصادية» السعودية.

- طُبع له في المجلس الأعلى للثقافة في مصر ترجمات عن الإنجليزية لكتب: «حكايات من السهول الإفريقية» لآن جاتي، و«بلايين وبلايين» لكارل ساجان»، و«يا له من سباق محموم» لفرانسيس كريك، الذي أُعيد نشره في مهرجان القراءة للجميع 2004، و«الانفجار العظيم» لجيمس ليدسي، و«سجون الضوء..الثقوب السوداء» لكيتي فرجاسون، و«غبار النجوم» لجون جريبين، و«الشفرة الوراثية وكتاب التحولات» لجونسون يان. ونُشر له في المجلس القومي للترجمة، ترجمة «ما بعد الواقع الافتراضي» لفيليب ريجو عن الفرنسية، و«قصص الحيوانات» لدينيس بيبير

مترجم عن الإنجليزية، و«أينشتاين ضد الصدفة» لفرانسوا دو كلوسيت عن الفرنسية، و«حكايات شعبية إفريقية» لروجر د. أبراهامز، و«أغنية البحر» لآن سبنسر، و«كون متميز» لروبرت لافلين.

- شارك في ترجمة ومراجعة مجلدَيْ جامعة كل المعارف «الكون» و«الحياة» عن الفرنسية، طبع ونشر المجلس الأعلى للثقافة في مصر.

- نُشر له من داري «كلمة» و«كلمات» ترجمة «عصر الآلات الروحية» لراي كيرزويل.

- نُشر له في دار إلياس ترجمة لـ «من الحمض النووي إلى القمح المعدل وراثيًا» لجون فاندون، و«من قنفذ البحر إلى النعجة دوللي» لسالي مورجان، وضمن الجزء الأول لـ «النظريات العلمية ومكتشفوها» كتابي «كبلر وقوانين الحركة الكوكبية» و«نيوتن وقوانين الحركة الثلاثة».

- نُشر له ستة كتيبات للأطفال تحت عنوان «العلم في حياتنا» عن طريق المركز القومي لثقافة الطفل في مصر، وينشر قصص مصورة ومواد علمية للأطفال في مجلة «العربي الصغير» الكويتية، ومواد علمية في مجلة «العربي» الكويتية وملحقها العلمي.

- نُشر له ديوانان «مدخل إلى الحدائق الطاغورية» و«قوة الحقائق البسيطة» ومجموعة قصصية «الجانب الآخر من النهر»، وكتاب فلسفي «شاهد ومشهود».

الفهرس